

**Mário Pedro Moreira Pereira**

**AVALIAÇÃO DE DESLOCAMENTOS E  
ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS EM  
INFRAESTRUTURAS PORTUÁRIAS  
PORTO DO FUNCHAL**



**Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território  
Porto 2014**



**Mário Pedro Moreira Pereira**

**AVALIAÇÃO DE DESLOCAMENTOS E  
ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS EM  
INFRAESTRUTURAS PORTUÁRIAS  
PORTO DO FUNCHAL**



*Tese submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto  
obtenção de grau de Doutor em Engenharia Geográfica*

**Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território  
Porto 2014**





**Mário Pedro Moreira Pereira**

**AVALIAÇÃO DE DESLOCAMENTOS E  
ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS EM  
INFRAESTRUTURAS PORTUÁRIAS  
PORTO DO FUNCHAL**



Orientadora: Professora Doutora Ana Cláudia Moreira Teodoro, FCUP  
Coorientador: Professor Doutor Fernando Francisco Machado Veloso-Gomes, FEUP

**Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território  
Porto 2014**



*Aos meus Pais*

“Somos o que repetidamente fazemos. A excelência, portanto, não é um feito, mas um hábito.”  
Aristóteles



## Agradecimentos

Quero agradecer a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para o concretizar desta dissertação de doutoramento pelo seu apoio, incentivo e orientação ao longo destes trabalhos.

À minha orientadora, a Professora Doutora Ana Cláudia Moreira Teodoro, pela orientação científica, disponibilidade, incentivo, sugestões e aconselhamentos determinantes, proporcionando todo o apoio necessário ao desenvolvimento destes trabalhos, determinante para a concretização desta dissertação.

Ao meu co-orientador, o Professor Doutor Fernando Veloso-Gomes, pelas palavras de encorajamento, pela transmissão de conhecimentos e orientação para os objetivos.

Ao Professor Doutor Eng.º Sérgio Oliveira, pela disponibilidade, partilha de conhecimentos, amabilidade e otimismo contagiante.

À Doutora Eng.ª Maria João Henriques, pelo apoio, interesse demonstrado pelos trabalhos e discussão dos testes realizados.

Ao Doutor Eng.º José Nuno Lima, pela disponibilidade, incentivo, interesse demonstrado, pelas informações científicas e críticas construtivas partilhadas ao longo do doutoramento e em especial no culminar dos trabalhos.

À Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) pelo apoio institucional facultado e disponibilização das condições necessárias para a realização desta dissertação de Doutoramento. Ao Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais (CICGE) e ao Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território pelo seu apoio institucional.

Ao Professor Rui Fernandes da Universidade da Beira Interior (UBI) pela discussão geral do tema da dissertação.

Ao Eng.º Nelson Pires da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) pela partilha de conhecimentos e apoio no *software* GAMIT.

Ao Eng.º Rui China da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) pelo apoio fundamental dispensado na realização dos ensaios no laboratório de Hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

À Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pela cedência das suas instalações.

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil pelo empréstimo dos acelerómetros para as campanhas de campo e toda a colaboração prestada.

Ao Departamento de Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia pela colaboração na separação dos materiais utilizados na construção do modelo físico.

Aos Portos da Madeira pelo apoio logístico e financeiro disponibilizado até à data nas pessoas da sua administradora a Dr.<sup>a</sup> Alexandra Mendonça, do Eng.º Rui Lopes e do Eng.º Pedro Camacho.

Ao Instituto Geográfico Português pela cedência de dados da estação permanente do Funchal ao abrigo do Programa FIGIEE.

À Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais da Região Autónoma da Madeira na pessoa do seu Exm.º Sr. Secretário Dr. Manuel António Rodrigues Correia, pela colaboração, disponibilização de equipamentos utilizados e pelo estatuto de equiparação a bolseiro atribuído, traduzindo-se em dias e horário flexível fundamental para o concretizar dos trabalhos inerentes a esta dissertação.

À Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente nas pessoas do seu Diretor de Serviços Dr. Paulo Clode de Freitas e do seu Diretor Regional Eng.º João Correia pelo apoio e compreensão demonstradas ao longo do doutoramento.

Ao Eng.º Santos Costa e à Dr.<sup>a</sup> Maria João Neves, ex Secretária do Equipamento Social, pelo apoio institucional.

À Leica Geosystems Portugal pela cedência de equipamentos geodésicos para a realização de campanhas de monitorização GNSS, na pessoa do Eng.º Luís Santos.

A todos os funcionários da Direcção de Serviços de Informação Geográfica com quem tenho o prazer de colaborar e privar o dia-a-dia.

Aos meus pais Manuel e Maria Antonieta.

À minha mulher Raquel e filha Frederica por todo o apoio, ânimo, compreensão e carinho.

Aos meus irmãos António Paulo e Rogério José.

À Dr.<sup>a</sup> Paula Marques pela amabilidade, simpatia e ajuda inestimável na simplificação de procedimentos na relação institucional com o gabinete de pós-graduação.

A todos os amigos.

## Resumo

A localização geográfica de Portugal, intimamente ligada ao mar, desempenhou ao longo da sua história um papel fundamental no seu desenvolvimento.

Portugal, com uma extensa linha de costa, e um domínio de águas internacionais relativamente vasto, tem uma localização geoestratégica que funciona como porta de entrada e saída da Europa pela sua centralidade em relação a diversas rotas internacionais, minimizando as suas limitações periféricas relativamente à Europa.

O mar e as suas infraestruturas portuárias foram assim no passado, são no presente, e serão cada vez mais, fatores preponderantes para o desenvolvimento de Portugal como um todo, mas ainda mais nos casos particulares das suas ilhas atlânticas.

As infraestruturas portuárias, à semelhança de todas as infraestruturas construídas e usadas pelo Homem, estão sujeitas a modificações constantes decorrentes da sua utilização e do meio envolvente. Por estarem sujeitas a severas condições climáticas e ambientais, estas infraestruturas requerem uma monitorização atenta.

Dos diversos elementos que constituem uma infraestrutura portuária, o quebramar é o que, pelas suas características e finalidade, carece de mais atenção devido à sua maior exposição aos fenómenos externos.

Os quebramares são infraestruturas portuárias destinadas à proteção de portos, concebidas e projetadas de modo a resistirem às mais adversas e extremas condições atmosféricas e ambientais.

A agitação marítima e marés, os ventos, as dinâmicas subaquáticas dos sedimentos, as atividades portuárias, são alguns dos fatores que provocam, ao longo do tempo, uma degradação natural dos quebramares, a qual pode impossibilitar a sua utilização no período de vida útil expectável.

Torna-se assim indispensável que este tipo de infraestruturas tenham um acompanhamento temporal rigoroso, recorrendo a ferramentas e procedimentos de verificação próprios, minimizando, e se possível, antecipando os riscos inerentes a uma decadência acentuada, de forma a programar intervenções eficazes e proporcionar uma gestão e manutenção mais eficientes.

O quebramar do porto do Funchal tem evidenciado, ao longo dos últimos anos, algumas fragilidades principalmente na sua parte mais extrema, a cabeça, decorrentes das

condições adversas a que se encontra exposto. Estas são o resultado dos efeitos da exposição a condições atlânticas típicas e da atracação e desatracação de navios de cruzeiro, cuja tonelagem e dimensão têm vindo a aumentar.

De modo a identificar as ações responsáveis e a quantificar o grau de evolução da deterioração ao longo do tempo, foi planeada e executada, a monitorização desta infraestrutura de modo a permitir identificar e quantificar as prováveis causas.

O principal objetivo desta dissertação foi monitorizar o comportamento do quebramar do porto do Funchal através da medição dos seus movimentos e deteção de alterações morfológicas, utilizando para o efeito sistemas de posicionamento por satélite (GNSS), técnicas clássicas de topografia, acelerómetros e através da simulação do seu comportamento com base em modelos numéricos e físicos, procurando conciliá-los de modo a identificar quais as principais causas para a deterioração encontrada e qual grau de evolução, idealizando um sistema de monitorização integrado para o controlo da segurança de infraestruturas portuárias.

Na presente dissertação descreve-se o trabalho realizado, nomeadamente: i) as campanhas de observação *in situ* (medição de deslocamentos e acelerações) e os principais resultados obtidos pelas diferentes metodologias de medição utilizadas; ii) as potenciais alterações morfológicas da estrutura, identificadas a partir da modelação física em laboratório; e iii) os resultados obtidos numericamente (com um modelo de elementos finitos calibrado com base no ajuste das frequências naturais de vibração calculadas e identificadas *in situ*) relativos à determinação dos deslocamentos expectáveis quando se consideram as forças devidas à atracação dos navios e devidas à agitação marítima.

Na parte final da dissertação, discutem-se ainda algumas das possíveis causas para a deterioração encontrada no quebramar do Porto do Funchal e salientam-se as vantagens da integração de diferentes metodologias de monitorização e de modelos físicos e numéricos para o controlo da segurança deste tipo de infraestruturas.

A dissertação foi dividida em 4 fases distintas.

Na primeira parte, capítulo 1, é apresentado o enquadramento dos trabalhos e atual estado da arte; são identificadas as principais fragilidades do quebramar do porto do Funchal e definidos os tipos de monitorização aplicados, e feito um breve enquadramento sobre o desenvolvimento do porto do Funchal enquanto porto de mar ao longo dos tempos.



Na segunda parte, Capítulos 2 e 3, são revistos alguns conceitos e são definidas as metodologias de monitorização utilizando os sistemas de posicionamento por satélite GNSS, o *software* de processamento de dados GNSS, topografia clássica, os acelerómetros e respetivos modos de processamento de sinal, e são focados os diferentes tipos de monitorização caracterizando-os quanto às suas necessidades específicas, bem como as diversas campanhas de campo para recolha de dados de acordo com os diferentes tipos de monitorização a aplicar e seus resultados.

A terceira parte dos trabalhos, capítulos 4 e 5, é dedicada aos modelos físicos e numéricos desenvolvidos para a criação de cenários e confirmação de resultados obtidos nas campanhas de campo.

Na última parte do trabalho, capítulo 6, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, são fundamentados os procedimentos a adotar para futuras intervenções, são discutidos alguns tipos de procedimentos que poderão ser usados de forma a minimizar as fragilidades e fundamentação sobre a pertinência da continuidade deste tipo de monitorização, discutido o sistema integrado de monitorização e suas potencialidades para o controlo da segurança de infraestruturas portuárias, bem como os resultados práticos a apresentar às instituições que gerem este tipo de infraestruturas de modo a fomentar este tipo de monitorização por parte dessas mesmas instituições.



## **Abstract**

The geographical location of Portugal, closely related to the sea, has played throughout its history a key role in its development.

Portugal, with an extensive coastline and a large area of international waters, has a geostrategic location that acts as an entry and exit point for Europe due to its centrality in relation to several international routes, minimizing their limitations in their circumferential context with Europe.

The sea and consequently the port infrastructure associated have been, are, and will be even more in the future a key for the development of Portugal in particular for the Portugal Atlantic islands.

Like several artificial infrastructures, port infrastructures are subject to constant changes arising from its use and its environment. Because they are subject to severe weather and environmental conditions, mainly due to its maritime surroundings, these infrastructures require special attention.

Of the different elements that constitute a port infrastructure, the breakwater mainly because their characteristics and purposes, needs more attention due to their greater exposure to external events.

The breakwaters are designed to protect port infrastructure, and constructed in order to resist to the most adverse and extreme weather and environmental conditions.

The sea waves and tides, winds, sediment dynamics, port activities, are some of the factors that cause, over the time, a natural degradation of breakwaters, which may preclude its use during the expected life time.

It is essential that port infrastructure have a rigid temporal monitoring, using tools and procedures to verification, minimizing and, if possible, anticipating the inherent risk of a severe decay, in order to program interventions and provide effective management and more efficient maintenance programs.

The breakwater of the Funchal port has shown over the past few years, some weaknesses especially in its most extreme part (head), resulting from to the adverse conditions to which it is exposed. These are the result of the effects of exposure to typical Atlantic conditions and the docking and undocking of ship cruise, whose tonnage and size are increasing.

In order to identify the responsible actions and quantify the degree of evolution of deterioration over time, was planned and executed a monitoring program of this structure in order to help to identify and to quantify the potential causes of this deterioration.

The main objective of this thesis was to analyze the behavior of the breakwater of the Funchal port by measuring their movements (displacements and accelerations) and detection of morphological changes through GNSS, surveying classical techniques, accelerometers and by simulations based on physical and numerical models, trying to reconcile the different approaches in order to identify the main causes of the deterioration founded in the structure and their degree of evolution.

This dissertation describes the work carried out, namely: i) in situ observation campaigns (measurement of displacements and accelerations) and the main results obtained by different measurement methodologies used, ii) potential morphological alterations of the structure identified from physical modeling in the laboratory, and also iii) the numerical model results (with a calibrated finite element model based on the fit of the calculated natural frequencies and identified in situ) for the determination of the expected vibration displacements when considering forces due the docking and undocking and due agitation.

In the final part of the dissertation, we discuss some of the possible causes for the deterioration founded in the breakwater and highlight the advantages of the integration of different monitoring methodologies and the integration of physical and numerical models for the control of the infrastructure safety.

This dissertation was divided into four distinct parts.

In the first part of Chapter 1, we present the framework and the current state of the art. The main weaknesses of the breakwater of the Funchal port are identified and defined the different types of control implemented. Also, a brief framework of the development of the port of Funchal while seaport over the time are presented.

In the second part, Chapters 2 and 3, a review of the basic concepts are given and definition of control methodologies and monitoring systems using GNSS, the GNSS processing software data, accelerometers and respective modes signal processing are discussed. Are also focused the different types of control featuring them according to their specific needs, as well as several field campaigns to collect data according to the different types of control to be applied and their results.

The third part of the work, Chapters 4 and 5, is dedicated to the physical and numerical models developed in order to generate scenarios and to confirm the results obtained in the field campaigns.

In the last part of the work, Chapter 6 is presented and discussed the results obtained, some procedures to be adopt in future interventions and are discussed different types of procedures that can be adopted in order to minimize the weaknesses and the reasons about the appropriateness of a permanent monitoring system for this type of control. Are still discussed the results in an perspective of the institutions that manage and are responsible to these structures in order to encourage this kind of monitoring programs. Are further described some recommendations to be consider in a future work.



## Résumé

La situation géographique du Portugal, étroitement liée à la mer, a joué tout au long de son histoire un rôle clé dans son développement.

Portugal, avec un littoral étendu et une zone des eaux internationales relativement large, a une position géostratégique qui fonctionne comme une entrée et sortie de l'Europe pour sa centralité par rapport aux différentes routes internationales, minimisant leurs limites dans leur contexte périphérique avec l'Europe.

La mer et ses infrastructures portuaires ont été dans le passé, sont à l'heure actuelle, et sera encore plus à l'avenir pour le développement de facteurs surpoids Portugal dans son ensemble, mais plus dans des cas particuliers de ses îles de l'Atlantique.

Comme tous construits et utilisés par les infrastructures de Man, les port infrastructures sont soumis à de constants changements découlant de son utilisation et de ses environs. Ils sont soumis à des conditions climatiques et environnementales sévères, principalement en raison de son environnement maritime, ces infrastructures nécessitent une attention particulière.

Les différents éléments qui constituent une infrastructure portuaire, la digue est ce que leurs caractéristiques et la finalité, a besoin de plus d'attention en raison de leur plus grande exposition à des phénomènes externes.

Les brise-lames sont conçus pour protéger les infrastructures portuaires des ports, conçu et fabriqué de manière à résister aux intempéries les plus défavorables et de l'extrême et des conditions environnementales.

Les vagues de la mer et des marées, les vents, la dynamique des sédiments sous-marins, les activités portuaires, sont quelques-uns des facteurs qui causent, au fil du temps, une dégradation naturelle des brise-lames, ce qui peut empêcher son utilisation au cours de la durée de vie utile.

Il est donc essentiel que cette infrastructure a un suivi temporel strict, en utilisant des outils et des procédures de vérification propres, réduire et, si possible, d'anticiper le risque inhérent à une décroissance sévère, afin de programmer les interventions et assurer une gestion efficace et une maintenance plus efficace.

Le brise-lames du port de Funchal a montré au cours des dernières années, certaines faiblesses notamment dans sa partie la plus extrême de la tête, résultant de conditions

défavorables à laquelle il est exposé. Elles sont le résultat des effets de l'exposition à des conditions typiques de l'Atlantique et l'arrimage et le désarrimage des navires de croisière, dont le tonnage et la taille sont de plus en plus.

Afin d'identifier les actions responsables et de quantifier le degré d'évolution de la détérioration au fil du temps, a été planifié et exécuté, le contrôle de cette structure afin d'aider à identifier et à quantifier les causes probables.

L'objectif principal de cette thèse est d'analyser le comportement de la digue du port de Funchal en mesurant leurs mouvements (déplacements et accélérations) et détection de changements morphologiques pour mettre fin à des systèmes utilisant le positionnement par satellite (GNSS), les techniques classiques pour l'arpentage, accéléromètres et en simulant son comportement sur la base de modèles numériques et physiques, en essayant de les concilier afin d'identifier les principales causes de la détérioration trouvés et leur degré d'évolution.

Dans cette thèse décrit le travail effectué, à savoir: i) des campagnes d'observation in situ (mesure des déplacements et accélérations) et les principaux résultats obtenus par les différentes méthodes de mesure utilisées, ii) modifications morphologiques potentiels de la structure identifiés à partir de la modélisation physique dans le laboratoire, et aussi iii) les résultats numériquement (avec un modèle d'élément fini calibré en fonction de l'ajustement des fréquences propres calculées et identifiée in situ) pour la détermination de déplacements vibratoires attendus lorsque l'on considère forces dues à l'amarrage des navires et à cause de la mer agitée.

Dans la dernière partie de la thèse, même si nous discutons de certaines des causes possibles de la détérioration trouvée dans la digue du port et de mettre en évidence les avantages de l'intégration des différentes méthodologies et le suivi des modèles physiques et numériques pour le contrôle de ces mesures de sécurité infrastructure.

Le document a été divisé en quatre phases distinctes.

Dans la première partie du chapitre 1, nous présentons le cadre du travail et de l'état actuel de la technique, nous identifions les principales faiblesses de la digue du port de Funchal et défini les types de contrôle développés, et un bref cadre sur le développement du port de Funchal et port à travers les âges.

Dans la deuxième partie, chapitres 2 et 3, nous passons en revue les concepts de base et la définition des méthodes de contrôle et de surveillance à l'aide de la navigation et positionnement par satellite GNSS, les logiciels de données de traitement de GNSS, la topographie classique, accéléromètres et modes respectifs traitement du signal, et se



concentrent sur les différents types de contrôle comportant les en fonction de leurs besoins spécifiques, ainsi que plusieurs campagnes sur le terrain pour recueillir des données selon les différents types de contrôle à appliquer et leurs résultats.

La troisième partie de l'ouvrage, les chapitres 4 et 5, est consacré aux modèles physiques et numériques développés pour la création de scénarios et la confirmation des résultats obtenus dans des campagnes de terrain, de répéter et de pratiquer des études de cas.

Dans la dernière partie des travaux, le chapitre 6, présente et discute les résultats obtenus, il se présente les fondements des à adopter pour les futures interventions sont les types de procédures pour minimiser les faiblesses et les raisons sur la pertinence de la poursuite de ce type de contrôle, ainsi que discuté pratique pour présenter à des institutions telles infrastructures afin d'encourager ce type de contrôle par ces mêmes institutions de résultats. Sont décrits plus en détail quelques recommandations à prendre en compte dans les travaux futurs.



# Índice

Resumo	iii
Abstract	vii
Résumé	xi
Índice	xv
Índice de Figuras	xxi
Índice de Tabelas	xxix
Lista de Abreviaturas e Siglas	xxxiii

## Capítulo 1 – Introdução

1.1 Enquadramento e Objetivo do Trabalho	1
1.2 Estado da Arte	4
1.3 Porto do Funchal	8
1.4 Organização do Trabalho	11

## Capítulo 2 – Metodologias para Monitorização e Controlo da Segurança Estrutural de Quebramares

2.1 Considerações Iniciais	15
2.2 Sistema de Monitorização da Estabilidade da Superestrutura	17
2.2.1 Medição de Deslocamentos com GNSS	17
2.2.1.1 Definição da Metodologia GNSS. Campanha Teste Forte de São Tiago	18

2.2.1.2 Redes de Monitorização, Marcas Físicas, Localização, Construção e Materialização	44
2.2.2 Medição de Vibrações	48
2.2.3 Inspeções Visuais	50
2.2.4 Comparação com os Resultados de Modelos Físicos e Numéricos	51
2.3 Definição de Metodologia para a Estação Total	52
2.3.1 Metodologia de Medição de Deslocamentos através de Topografia Clássica	52
2.3.2 Inspeções Visuais	56
2.3.3 Rede de Monitorização, Marcas Físicas, Localização, Construção e Materialização	57
2.3.4 Comparação com Modelo Físico	58
2.4 Sistema de Coordenadas Local	58
2.5 Considerações Finais	63
 <b>Capítulo 3 – Campanhas de Monitorização Estrutural</b>	
3.1 Considerações Iniciais	65
3.2 Épocas de Referência	67
3.2.1 Sistema de Monitorização da Estabilidade do Quebramar (MEQ) e Sistema de Monitorização da Atracação e Desatracação de Navios de Cruzeiro (MAD)	67
3.2.2 Sistema de Monitorização dos Movimentos Macro do Tetrápodes (MMT)	73
3.3 Sistema de Monitorização da Estabilidade do Quebramar (MEQ)	75
3.3.1 Resultados	76

3.4 Sistema de Monitorização da Atracação e Desatracação de Navios de Cruzeiro (MAD)	84
3.4.1 Campanhas de Observação GNSS	85
3.4.1.1 Resultados	86
3.4.2 Campanhas de Observação Conjunta GNSS e Acelerómetros	90
3.4.2.1 Resultados	93
3.5 Sistema de Monitorização dos Movimentos Macro dos Tetrápodes (MMT)	102
3.5.1 Resultados	102
3.6 Análise de Resultados	104
3.7 Considerações Finais	107
 <b>Capítulo 4 – Modelo Físico do Quebramar do Porto do Funchal</b>	
4.1 Considerações Iniciais	109
4.2 Instalações Experimentais, Equipamentos e <i>Software</i>	110
4.3 Seleção da Escala, Escolha e Separação de Materiais e Construção do Modelo	113
4.3.1 Definição da Escala	114
4.3.2 Escolha e Separação dos Materiais	115
4.3.3 Construção do Modelo Físico	117
4.4 Sistema de Geração de Ondas e Sistema de Aquisição de Dados	122
4.4.1 Sistema de Aquisição de Dados	122
4.4.2 Sistema de Geração de Ondas	127

4.5 Efeitos de Escala e Efeitos de Laboratório	128
4.5.1 Efeitos de Escala	129
4.5.2 Efeitos de Laboratório	130
4.6 Condições de Teste	131
4.7 Ensaios Realizados	132
4.8 Resultados	134
4.9 Considerações Finais	138
 <b>Capítulo 5 – Modelo Numérico do Quebramar do Porto do Funchal</b>	
5.1 Considerações Iniciais	141
5.2 Especificações Gerais	143
5.3 Malha de Elementos Finitos do Quebramar do Porto do Funchal e Caraterização do Modelo	144
5.4 Estudo Paramétrico. Calibração do Modelo com Base no Ajuste das Frequências Naturais Calculadas e Identificadas <i>In Situ</i>	146
5.5 Deslocamentos devidos às Forças da Atracação de Navios de Cruzeiro e Forças Equivalentes da Agitação Marítima	150
5.5.1 Resultados Obtidos para as Forças Aplicadas	154
5.6 Considerações Finais	156
 <b>Capítulo 6 – Conclusões e Recomendações</b>	
6.1 Síntese do Trabalho	157
6.2 Contribuições Inovadoras – Sistema Integrado Multifuncional	157
6.3 Apreciação dos Resultados	158

6.4 Recomendações e Trabalhos Futuros	162
<b>Referências</b>	165
<b>Anexos</b>	171





# Índice de Figuras

## Capítulo 1 – Introdução

Figura 1.1	Quebramar do porto do Funchal (esq.). Monitorização <i>in situ</i> e utilização de modelos físicos e numéricos no controlo da segurança	2
Figura 1.2	Fluxograma do trabalho desenvolvido	4
Figura 1.3	Ortofotomapa do porto do Funchal. Zonas de atracação	10

## Capítulo 2 – Metodologias para Monitorização e Controlo da Segurança Estrutural de Quebramares

Figura 2.1	Extrato do ortofotomapa com localização dos pontos objeto, estação permanente FUNC e o vértice geodésico Forte de São Tiago	18
Figura 2.2	Vértice geodésico Forte de São Tiago	19
Figura 2.3	Montagem fixa	19
Figura 2.4	Elipsóide de erro para as componentes N, E e h com um grau de confiança de 99% visto de duas perspetivas diferentes	25
Figura 2.5	Elipse de erro para as componentes E e N com um grau de confiança de 99%	26
Figura 2.6	Elipse de erro e retângulo de erro padrão	26
Figura 2.7	Parâmetros de configuração de processamento de dados	33
Figura 2.8	Resultados de qualidade no cálculo da linha de base estação permanente Forte de São Tiago	34
Figura 2.9	Resultados de qualidade no cálculo do ponto Forte de São Tiago	34

Figura 2.10	Épocas de Observação da campanha Forte de São Tiago. Cadência de 5s processadas com o <i>software</i> TRACK	41
Figura 2.11	Coordenadas finais calculadas na campanha Forte de São Tiago. Processamento com o <i>software</i> TRACK	42
Figura 2.12	Sumário do processamento de dados com o <i>software</i> TRACK	42
Figura 2.13	Variações segundo a componente X, Y e Z processadas com o <i>software</i> TRACK para um dos intervalos de observação considerados	43
Figura 2.14	Elevações (deslocamentos diferenciais) entre extensões do muro de coroamento, na crista do quebramar	45
Figura 2.15	Fissuras no muro de coroamento do quebramar	45
Figura 2.16	Pontos da rede da MEQ	46
Figura 2.17	Ponto objeto pertencente à rede da MAD (MC09)	47
Figura 2.18	Marcas de centragem forçada embutidas na crista da superestrutura do quebramar	48
Figura 2.19	Marcas de centragem forçada e bucha metálica assente sobre a superestrutura do quebramar	48
Figura 2.20	Monitorização do comportamento dinâmico. Controlo do estado de deterioração das obras	49
Figura 2.21	Fotografias exemplificativas das fissuras, fendas e deslocamentos verticais	50
Figura 2.22	Metodologia de controlo da segurança com vista a melhorar a eficiência da gestão e manutenção de infraestruturas portuárias	51
Figura 2.23	Vista geral do manto de tetrápodes	52

Figura 2.24	Cálculo das coordenadas planimétricas para cada um dos pontos objeto (PO) sobre os tetrápodes. Vista de topo. Os pontos A e B são pontos estacionados pela estação total	53
Figura 2.25	Cálculo da coordenada altimétrica para cada um dos pontos objeto (PO) sobre os tetrápodes. Vista de perfil	54
Figura 2.26	Coordenadas do tetrápode 10 (PO10)	56
Figura 2.27	Distribuição e quantidade de tetrápodes	57
Figura 2.28	Tetrápodes subdivididos em 3 grupos	57
Figura 2.29	Localização dos pontos limite sobre o muro de coroamento (crista) do quebramar	59
Figura 2.30	Ortofotomapa da baía da cidade do Funchal	60
Figura 2.31	Diferença entre os eixos	61
Figura 2.32	Sistema de coordenadas local final	62

### **Capítulo 3 – Campanhas de Monitorização Estrutural**

Figura 3.1	Ponto objeto MC01	77
Figura 3.2	Deslocamento diferencial na cabeça do quebramar. Ponto objeto MC01	78
Figura 3.3	Pontos objeto MC07 e MC08	79
Figura 3.4	Variações componente x para os pontos objeto MC02, MC03, MC04, MC05 e MC06	81
Figura 3.5	Variações componente x para os pontos objeto MC07, MC08, MC09, MC10, MC11 e MC12	82
Figura 3.6	Variações componente y para os pontos objeto MC02, MC03, MC04, MC05 e MC06	82
Figura 3.7	Variações componente y para os pontos objeto MC07, MC08, MC09, MC10, MC11 e MC12	83

Figura 3.8	Variações componente z para os pontos objeto MC02, MC03, MC04, MC05 e MC06	83
Figura 3.9	Variações componente z para os pontos objeto MC07, MC08, MC09, MC10, MC11 e MC12	84
Figura 3.10	Gráfico de variações para o MC10 referente à atracação de 21 de março de 2011	87
Figura 3.11	Gráfico de variações para o MC10 referente ao período em que o navio esteve atracado de 21 de março de 2011	88
Figura 3.12	Gráfico de variações para o MC10 referente à campanha da MEQ de 23 de junho de 2010	88
Figura 3.13	Localização dos acelerómetros (A1, A2 e A3), da antena GNSS nos pontos 1 e 3 e pormenor do sistema Vibambi	92
Figura 3.14	Atracação. Variação das componentes x, y e z	94
Figura 3.15	Atracação. Acelerogramas	94
Figura 3.16	Registo do acelerómetro da componente horizontal	95
Figura 3.17	FFT para o processo de atracação	95
Figura 3.18	FFT para o processo de desatracação	96
Figura 3.19	Desatracação. Variação das componentes x, y e z do ponto objeto MC09 para a campanha do dia 7 de setembro de 2012	97
Figura 3.20	Desatracação. Variação das componentes x, y e z do ponto objeto MC09 para a campanha do dia 8 de setembro de 2012	98
Figura 3.21	Sem navio. Variação das componentes x, y e z do ponto objeto MC09 para a campanha do dia 9 de setembro de 2012	98
Figura 3.22	Acelerogramas. Atracação de 7 de setembro de 2012	99
Figura 3.23	Acelerogramas. Atracação de 8 de setembro de 2012	100

Figura 3.24	GNSS. Atracção de 7 de setembro de 2012	100
Figura 3.25	GNSS. Atracção de 8 de setembro de 2012	101
Figura 3.26	FFT para o processo de atracção de 8 de setembro de 2012	101
Figura 3.27	FFT para o processo de atracção de 7 de setembro de 2012 (GNSS)	101

#### **Capítulo 4 – Modelo Físico do Quebramar do Porto do Funchal**

Figura 4.1	Sistema de geração de agitação – Modulo de pás	111
Figura 4.2	Pás, motores e distensões independentes	112
Figura 4.3	Sistema de controlo de geração de agitação e sistema de controlo de aquisição de dados	112
Figura 4.4	Perfil tipo do quebramar do porto do Funchal	114
Figura 4.5	Escala de pesos e tamanhos aproximados dos materiais constituintes das camadas de materiais pétreos	115
Figura 4.6	Perfil tipo do quebramar desenhado no vidro lateral do tanque de ondas	118
Figura 4.7	Divisórias colocadas a 75 cm da parede lateral do tanque de ondas (vistas de barlar e sotamar)	118
Figura 4.8	Início do enchimento da camada inferior de TOT	119
Figura 4.9	Camada de TOT concluída	119
Figura 4.10	Camada de enrocamentos de 0.5 a 2 tf	120
Figura 4.11	Camada exterior de enrocamentos de 1 a 2 tf	120
Figura 4.12	Camadas exteriores de enrocamentos de 3 a 5 tf e de 2 a 5 tf	121
Figura 4.13	Camada de tetrápodes (25 tf)	121
Figura 4.14	Modelo completo e água pelo nível de PMAV	122

Figura 4.15	Terminal de gestão do sistema de aquisição de dados e terminal de sondas	123
Figura 4.16	Sondas hidrodinâmicas	123
Figura 4.17	Calibração das sondas. Introdução de parâmetros e obtenção dos resultados	124
Figura 4.18	Resultados numéricos da calibração	125
Figura 4.19	Janela de controlo do processo do <i>software</i> HD DAQ Suite	125
Figura 4.20	Dados estatísticos apresentados pelo <i>software</i>	127
Figura 4.21	Fotografia e desenho CAD após os ensaios para os períodos de retorno dos 20 anos	135
Figura 4.22	Fotografia e desenho CAD após os ensaios para os períodos de retorno dos 50 anos	136
Figura 4.23	Fotografia e desenho CAD após os ensaios para os períodos de retorno dos 100 anos	137
Figura 4.24	Inclinação do módulo mais afastado da superestrutura evidenciando a violência da agitação	137

## **Capítulo 5 – Modelo Numérico do Quebramar do Porto do Funchal**

Figura 5.1	Malha de elementos finitos de 4 nós	144
Figura 5.2	Pormenor da malha de elementos finitos de 8 nós (zona superior da superestrutura)	145
Figura 5.3	Perfil do quebramar. Representação das camadas com diferentes materiais	146
Figura 5.4	Perfil do quebramar representado pelas camadas de materiais para o cenário escolhido	148
Figura 5.5	Frequência dos 3.8 Hz	148
Figura 5.6	Frequência dos 4.4 Hz	149

Figura 5.7	Frequência dos 8.7 Hz	149
Figura 5.8	Frequência dos 79.1 Hz	149
Figura 5.9	Frequência dos 132.0 Hz	149
Figura 5.10	Frequência dos 146.5 Hz	150
Figura 5.11	Método de Goda (adaptado de Coastal Engineering Manual, 2006)	151
Figura 5.12	Forças aplicadas representadas na malha de elementos finitos	153
Figura 5.13	Deslocamentos devidos às forças máximas aplicadas devidas à atracação de navios de cruzeiro	155
Figura 5.14	Deslocamentos devidos às forças máximas aplicadas devidas à agitação marítima	155
Figura 5.15	Deslocamentos devidos às forças máximas conjugadas	155





# Índice de Tabelas

## Capítulo 1 – Introdução

Tabela 1.1	Caraterísticas das zonas de atracação 1, 2 e 3	10
------------	--	----

## Capítulo 2 – Metodologias para Monitorização e Controlo da Segurança Estrutural de Quebramares

Tabela 2.1	Equipamentos GNSS utilizados	20
Tabela 2.2	Soluções finais para cada período horário considerado	21
Tabela 2.3	Diferenças entre a solução de cada bloco horário e a solução global	21
Tabela 2.4	Desvio padrão para cada uma das 12 soluções de cada período horário	21
Tabela 2.5	Desvio padrão de cada período horário relativamente à solução global	22
Tabela 2.6	Diferenças máximas dentro de cada bloco horário para cada uma das 12 soluções	22
Tabela 2.7	Valor-p para o teste de Kolmogorov-Smirnov ( $\alpha=5\%$ )	24
Tabela 2.8	Órbitas difundidas vs. órbitas precisas	29
Tabela 2.9	Cadência de 1 segundo vs. cadência de 30 segundos	30
Tabela 2.10	Diferenças para as máscaras de altura dos satélites para os 5°, 10° e 15°	30
Tabela 2.11	Resultados com e sem modelo da troposfera	31
Tabela 2.12	Resultados com e sem combinação livre da ionosfera	32
Tabela 2.13	GPS vs. GPS+GLONASS	33

Tabela 2.14	Solução dos intervalos para o Forte de São Tiago usando o <i>software</i> TRACK	43
Tabela 2.15	Solução final para o Forte de São Tiago usando o <i>software</i> TRACK	44
Tabela 2.16	Resumo do processamento de dados dos <i>softwares</i> LEICA Geo Office e TRACK. Desvio padrão	44
Tabela 2.17	Coordenadas dos pontos limite sobre o muro de coroamento do quebramar em ambos sistemas	60
Tabela 2.18	Parâmetros da transformação afim entre os dois sistemas	62

### **Capítulo 3 – Campanhas de Monitorização Estrutural**

Tabela 3.1	Equipamentos utilizados	68
Tabela 3.2	Soluções calculadas para cada época de observação, média final e desvio padrão para a componente X na realização do ITRF93	69
Tabela 3.3	Soluções calculadas para cada época de observação, média final e desvio padrão para a componente Y na realização do ITRF93	69
Tabela 3.4	Soluções calculadas para cada época de observação, média final e desvio padrão para a componente Z na realização do ITRF93	70
Tabela 3.5	Soluções calculadas para cada época de observação, média final e desvio padrão para a componente E no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE	70
Tabela 3.6	Soluções calculadas para cada época de observação, média final e desvio padrão para a componente N no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE	71
Tabela 3.7	Soluções calculadas para cada época de observação, média Final e desvio padrão para a componente H no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE	71
Tabela 3.8	Soluções finais da época de referência no sistema de coordenadas local	72

Tabela 3.9	Coordenadas dos tetrápodes pertencentes ao conjunto 1 no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE	74
Tabela 3.10	Coordenadas dos tetrápodes pertencentes ao conjunto 1 no sistema de coordenadas local	74
Tabela 3.11	Épocas de observação GPS e resultados no sistema de coordenadas local MC01	76
Tabela 3.12	Épocas de observação GPS e resultados no sistema de coordenadas local MC07	79
Tabela 3.13	Épocas de observação GPS e resultados no sistema de coordenadas local MC08	80
Tabela 3.14	Épocas de observação GPS e resultados no sistema de coordenadas local MC10	80
Tabela 3.15	Principais características dos navios de cruzeiro utilizados nas campanhas da MAD	86
Tabela 3.16	Campanhas de observação GNSS, pontos e amplitudes máximas	89
Tabela 3.17	Principais características dos navios de cruzeiro considerado nas campanhas conjuntas da MAD com GNSS e acelerómetros	91
Tabela 3.18	Equipamentos GNSS utilizados nas campanhas conjuntas GNSS e acelerómetros	92
Tabela 3.19	Épocas de observação do PC13 pertencente ao grupo 1	103
Tabela 3.20	Épocas de observação do PC33 pertencente ao grupo 2	103
Tabela 3.21	Épocas de observação do PC55 pertencente ao grupo 3	103

#### **Capítulo 4 – Modelo Físico do Quebramar do Porto do Funchal**

Tabela 4.1	Altura máxima (Hmax) e altura significativa de onda (Hs) para cada um dos períodos de retorno (Ramos, 2009)	113
------------	---	-----

Tabela 4.2	Tipo e pesos dos grupos de materiais dos blocos para o modelo	116
Tabela 4.3	Camadas, tipo e volumes de materiais	116
Tabela 4.4	Frequências máximas e mínimas admissíveis	126
Tabela 4.5	Distâncias relativas entre sondas	126
Tabela 4.6	Períodos, alturas significativas e máximas para cada período de retorno no protótipo e modelo	128
Tabela 4.7	Números de Reynolds para o caso de estudo	130
Tabela 4.8	Duração dos espectros <i>JONSWAP</i> para os períodos de retorno considerados nos ensaios realizados	132
Tabela 4.9	Ensaio realizados	133

## **Capítulo 5 – Modelo Numérico do Quebramar do Porto do Funchal**

Tabela 5.1	Caraterísticas das camadas de materiais	145
Tabela 5.2	Frequências naturais de vibração calculadas para as condições base	147
Tabela 5.3	Caraterísticas elásticas dos materiais para a solução resultante do estudo paramétrico (modelo calibrado)	147
Tabela 5.4	Frequências naturais de vibração calculadas com o modelo calibrado	148
Tabela 5.5	Deslocamentos máximos para as componentes x (horizontal) e y (vertical)	154

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

**APRAM** – Administração dos Portos da Madeira

**CDMA** – Code Division Multiple Access

**CfA** – Harvard-Smithsonian Center of Astrophysics

**COBRAS** – Concrete Bridge Assessment Program

**COMPASS** – Compass Navigation Satellite System

**CORS** – Continuously Operating Reference Station

**DGT** – Direção Geral do Território

**DOP** – Dilution Of Precision

**EOP** – Earth Orientation Parameters

**EUREF** – IAG Reference Frame Sub-Commission for Europe

**FDMA** – Frequency Division Multiple Acc

**FFT** – Fast Fourier Transform

**FORTTRAN** – Formula Translating System

**GALILEO** – Galileo Positioning System

**GDOP** – Geometric Dilution Of Precision

**GLONASS** – Global Navigation Satellite System

**GNSS** – Global Navigation Satellite System

**GPS** – Global Positioning System

**h** – Altitude Elipsoidal

**H** – Altitude Ortométrica

**Hs** – altura de Onda Significativa

**IGP** – Instituto Geográfico Português

**IGS** – International GNSS Service

**IH** – Instituto Hidrográfico

**ITRF** – International Terrestrial Reference Frame

**LBS** – Local Base Service

**LNEC** – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**MAD** – Monitorização da Atracação e Desatracação de navios de cruzeiro

**MC** – Marcas de Controlo

**MEQ** – Monitorização da Estabilidade do Quebramar

**MIT** – Massachusetts Institute of Technology

**MMT** – Monitorização dos Movimentos macro dos Tetrápodes

**NASA** – National Aeronautics and Space Administration

**PDOP** – Position Dilution Of Precision

**PMAV** – Preia Mar de Águas Vivas

**PO** – Pontos Objeto

**REPGRAM** – Rede Regional de Estações Permanentes da Região Autónoma da Madeira

**ReNEP** – Rede Nacional de Estações Permanentes

**RINEX** – Receiver Independent Exchange Format

**SIG** – Sistema de Informação Geográfica

**SIO** – Scripps Institution of Oceanography

**SLR** – Satellite Laser Ranging

**SNR** – Signal to Noise Ratio

**TANGO** – TransAtlantic Network Geodynamics Oceanography

**TOT** – pedra Todo O Tamanho

**UNIX** – UNiplexed Information and computing system

**VLBI** – Very Long Baseline Interferometry

**WGS84** – World Geodetic System 84

**ZH** – Zero Hidrográfico





# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Enquadramento e Objetivo do Trabalho

As infraestruturas criadas e utilizadas pelo Homem estão sujeitas a modificações constantes intrínsecas à sua conceção, bem como decorrentes da sua utilização e do meio envolvente que as rodeiam. Essas alterações podem iniciar-se logo após a sua conclusão caminhando para situações de instabilidade naturais, inerente às suas características e finalidades carecendo de mais ou menos acompanhamento conforme as suas utilizações e características.

Ações externas como agitação marítima, ventos, tempestades, chuvas, radiação solar, sismos e atividades a que se destinam, são alguns dos exemplos de fenómenos responsáveis pela degradação de todos os tipos de infraestruturas.

As infraestruturas portuárias, são um exemplo do tipo de infraestruturas que requerem uma atenção especial, pois estão expostas a severas condições climáticas, que no caso específico dos quebra-mares são devidas principalmente ao seu meio envolvente, o mar.

As infraestruturas portuárias são de extrema importância para o desenvolvimento económico e social das povoações, tratando-se de elos fundamentais entre o “exterior” e as povoações. Essa importância é ainda mais evidente nos pontos geográficos isolados, casos específicos das ilhas, onde os meios marítimos são ainda mais imprescindíveis, pois as alternativas existentes são incomparavelmente mais dispendiosas. Assim, as infraestruturas portuárias e todos os seus constituintes são um dos polos económicos e sociais mais importantes para uma ilha, podendo mesmo considerar-se como infraestruturas indispensáveis ao pleno desenvolvimento das mesmas.

Dos diferentes elementos constituintes de uma infraestrutura portuária, é o quebra-mar que pelas suas características próprias e finalidade, necessita de maior atenção devido principalmente à sua permanente exposição a fenómenos externos.

Os quebra-mares são infraestruturas destinadas à proteção de portos, concebidas e projetadas de modo a resistirem às mais adversas e extremas condições atmosféricas e

ambientais. A agitação marítima e as marés, os ventos, as dinâmicas subaquáticas dos sedimentos e as atividades portuárias são alguns dos fatores que provocam, ao longo do tempo, uma degradação natural dos quebramares, a qual pode impossibilitar a sua utilização no período de vida útil expectável.

Torna-se, assim, indispensável que este tipo de infraestrutura tenha um acompanhamento temporal rigoroso, recorrendo a ferramentas e procedimentos de monitorização específicos, minimizando e, se possível, antecipando os riscos inerentes a uma decadência acentuada, de forma a programar intervenções eficazes e proporcionar uma gestão e manutenção mais eficiente. Tendo isso em conta e, considerando igualmente fundamental salvaguardar os investimentos e sustentabilidade dessas infraestruturas, é indispensável a sua monitorização ao longo da sua vida útil, tornando-se importante a sua monitorização e controlo da segurança ao longo do tempo. O controlo da segurança apresentado nesta dissertação baseia-se na comparação dos resultados da monitorização *in situ* com resultados de modelos (figura 1.1) físicos e numéricos (Pereira *et al.*, 2013).

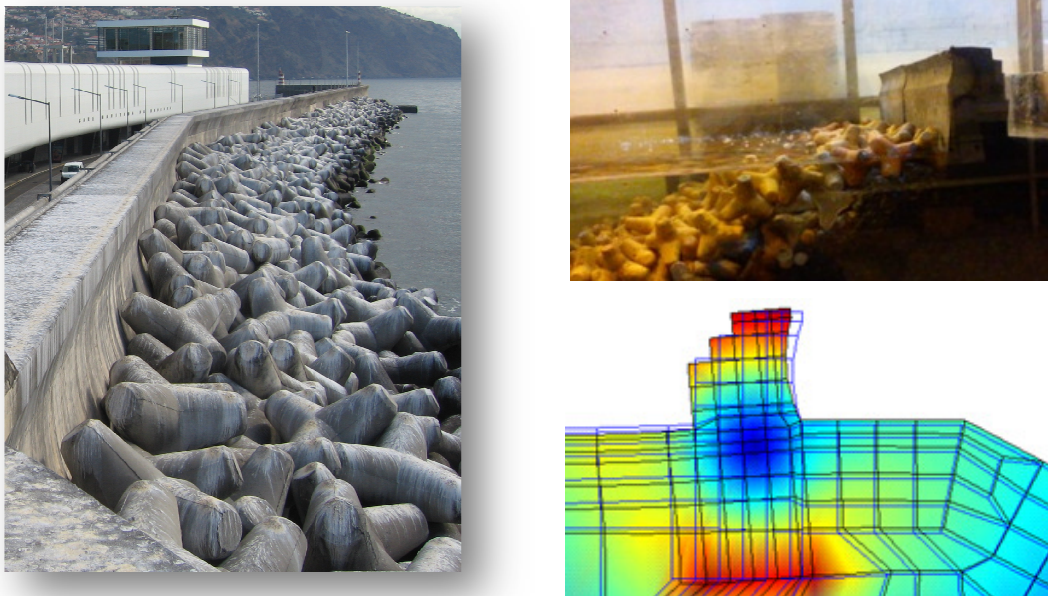


Figura 1.1 – Quebramar do porto do Funchal (esq.). Monitorização *in situ* e utilização de modelos físicos e numéricos no controlo da segurança.

O quebramar do porto do Funchal é um bom exemplo de uma infraestrutura que necessita de acompanhamento, pois tem evidenciado, ao longo dos últimos anos, algumas fragilidades, principalmente na sua parte mais extrema (cabeça), decorrentes

das condições adversas a que se encontra exposto, resultantes dos efeitos da exposição a condições atlânticas típicas e da atracação e desatracação de navios de cruzeiro, cuja tonelagem e dimensão têm aumentado.

Efeitos como a agitação marítima e marés, a erosão e a infraescavação pelas dinâmicas próprias dos sedimentos, as atracações de navios de cruzeiro e, a outra escala temporal, os movimentos de neotectónica são ações, quer individualmente, quer conjugadas entre si, que são provavelmente responsáveis pelas instabilidades encontradas neste tipo de infraestrutura.

A realização de controlos específicos e programados no tempo possibilita o acompanhamento da evolução das infraestruturas que se pretende monitorizar, garantindo, dessa forma, um conhecimento aprofundado da mesma, balizando qualquer intervenção que possa vir a ser necessária.

O objetivo deste trabalho é identificar instabilidades existentes num quebramar, elegendo como caso de estudo o quebramar do porto do Funchal, caracterizando-as e consequentemente identificando qual o tipo de ação ou conjunto de ações externas responsáveis por essas instabilidades, avaliando o seu grau de evolução e sugerir o tipo de ação corretiva a aplicar. Deste modo, pretendeu-se monitorizar o comportamento do quebramar através da medição de deslocamentos (GNSS e técnicas clássicas de topografia) e da medição de vibrações (utilizando técnicas de análise modal obtêm-se as frequências naturais de vibração). Os resultados da monitorização são comparados com os resultados de modelos físicos e de modelos numéricos, o que permite detetar eventuais anomalias de comportamento associadas, por exemplo, a alterações morfológicas (figura 1.2).

É inovador juntar num mesmo trabalho a observação de deslocamentos (monitorização) com técnicas geodésicas, análise modal (frequências das vibrações da estrutura), modelo matemático e modelo físico. O trabalho apresenta-se inovador pela utilização de diferentes métodos, completamente independentes, através dos quais se procura compreender as principais razões para as deteriorações encontradas e, também, para o seu grau de evolução.

Nesta dissertação pretende-se descrever o trabalho realizado, nomeadamente as campanhas de observação, os principais resultados obtidos pelas diferentes metodologias utilizadas, as potenciais alterações morfológicas da estrutura identificadas a partir da modelação física em laboratório e ainda a discussão dos cenários criados, resultantes das pressupostas variantes em modelo numérico.



A crescente preocupação com a segurança e o bem-estar de quem utiliza os diferentes tipos de infraestruturas construídas pelo Homem, obriga, consequentemente, a que estas venham a ser monitorizadas nos anos futuros.

As técnicas utilizadas para o efeito vão desde as técnicas clássicas de topografia, até às técnicas mais recentes, como os sistemas globais de posicionamento por satélites (GNSS). Este último, devido aos seus recentes desenvolvimentos técnicos, à sua exatidão, ao seu custo-benefício e reduzida influência operacional de quem manuseia os equipamentos, operacionalidade em contínuo e sob quaisquer condições climáticas, faz com que o GNSS em combinação com outras metodologias sejam dos mais procurados para este tipo de monitorização.

São muitos os exemplos de aplicação do GNSS à monitorização: deformações em infraestruturas criadas pelo Homem (Meng, 2002; Hudnut e Behr, 1998; e Lovse *et al.*, 1995), deformações provocadas por fenómenos naturais, como deslizamentos de terras (Brunner *et al.*, 2000), deformações de origem vulcanológica (Rizos *et al.*, 2000a, 2000b), movimentos associados à tectónica de placas (Forward *et al.*, 2001), sismologia (Gahalaut *et al.*, 2008) e deformações da crosta terrestre (Imakiire e Nakahori, 2001).

Alguns trabalhos de monitorização em infraestruturas portuárias têm sido desenvolvidos ao longo dos últimos anos. As metodologias usadas nesses trabalhos englobam várias áreas/técnicas, desde as técnicas clássicas de topografia, ao GNSS, deteção remota e inspeções vídeo subaquáticas (Pilarczyk e Zeidler, 1996).

Com a permanente evolução do GNSS, as técnicas clássicas têm vindo a ser substituídas ou usadas como complemento a estas, uma vez que as suas limitações intrínsecas (como, por exemplo, necessidade de linha de visão entre os pontos objeto) aumentam os custos de observação.

Sistemas de monitorização com emissão de alarmes utilizando a fase da portadora do sinal GPS (*Global Positioning System*) com recetores de mono frequência, foram aplicados para o controlo e determinação de movimentos sub-centimétricos em vários tipos de infraestruturas (Knecht e Maneti, 2001).

Trabalhos mais recentes desenvolvidos sobre esta temática, aplicados a infraestruturas portuárias, foram realizados durante os trabalhos de manutenção do quebra-mar do porto de Génova (Itália), utilizando recetores de mono frequência distribuídos ao longo de 800 metros sobre a crista do quebra-mar (10 pontos), em modo contínuo, usando pós-processamento e utilizando 2 estações de referência distanciadas dos pontos de controlo 4.5 km e 5.5 km, respetivamente (Grosso *et al.*, 2007). Com este *modus operandis* foi

possível monitorizar o quebra-mar verificando a sua estabilidade ao longo das obras de requalificação, tendo sido possível identificar as zonas em que os deslocamentos relativos da infraestrutura foram superiores ao expectável, bem como acompanhar a sua evolução dinâmica. No entanto, em situações em que não seja possível, ou, eventualmente, vantajoso implementar este tipo de sistema, as alternativas terão de ser procuradas de forma a considerar um sistema em modo descontínuo, mas que possibilite a monitorização com continuidade temporal.

No entanto, para a potencialização deste tipo de metodologias de monitorização utilizando o GNSS como principal ferramenta, é necessário considerar previamente vários fatores que podem condicionar a exatidão obtida. Efeitos como o atraso provocado pela atmosfera (ionosfera e troposfera), erros dos relógios dos satélites e dos recetores, erros das órbitas dos satélites e sua distribuição espacial, multicaminho e ruído electrostático condicionam o resultado obtido para as várias posições que se pretendam calcular. O posicionamento relativo permite melhorar a precisão final dos resultados obtendo-se uma precisão decimétrica, centimétrica ou até mesmo milimétrica de acordo com a qualidade e capacidade dos equipamentos utilizados e da estratégia/qualidade da aquisição dos dados.

O posicionamento relativo caracteriza-se pela utilização de dois recetores GNSS em simultâneo, um deles percorrendo as posições de interesse, e um outro utilizado como estação de referência estacionado num local de coordenadas bem definidas e conhecidas onde a degradação do sinal pode ser estudada, possibilitando a correção das posições a calcular através da transmissão dessas correções em tempo-real através de protocolo próprio, ou em pós-processamento através da utilização dos ficheiros de observação comuns (Xu, 2007).

São diversas as redes de estações permanentes do tipo CORS (Continuously Operating Reference Station) existentes. Nos últimos anos a sua constituição tornou-se generalizada pela procura crescente de redes de base de apoio à utilização do GNSS, procurando assim otimizar e estandardizar a sua utilização, permitindo uma melhoria dos resultados obtidos.

Existem redes de carácter global, como é o exemplo da rede IGS (<http://igscb.jpl.nasa.gov/>), de carácter nacional, como é a rede nacional da ReNEP (Rede Nacional de Estações Permanentes) (<http://www.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/renep/renep.asp>), e de carácter local, caso da

REPGRAM (Rede de Estações Permanentes da Região Autónoma da Madeira) (<http://www.repgram.org.pt/spiderweb/frmIndex.aspx>).

Segundo Hyzak (1997) são diversas as vantagens do uso do GNSS para a monitorização estrutural de infraestruturas, nomeadamente, a possibilidade de uso em contínuo e sobre quaisquer condições atmosféricas, várias exatidões possíveis de acordo com as necessidades do estudo, obtenção de posições 3D, redução da intervenção humana e recolha de dados com elevada frequência de amostragem. Contudo, e apesar dos enormes desenvolvimentos que o GNSS tem tido nos tempos mais recentes, ainda existem algumas limitações na utilização deste sistema quando utilizado em elevadas frequências de amostragem. Torna-se, assim, adequado a sua utilização complementada com outras tecnologias, nomeadamente sistemas inerciais, criando um sistema de monitorização híbrido (Pereira *et al.*, 2011).

São vastas as aplicações que se apoiam na utilização de acelerómetros para recolha de informação sob a forma de acelerações com fins muito díspares. Os sistemas de navegação inerciais são um tipo de aplicações possíveis para os acelerómetros (Pang e Liu, 2001; Wimmer, 2006), bem como em aplicações subaquáticas (Shen *et al.*, 2010).

Os sistemas híbridos integrando o GNSS e acelerómetros triaxiais, poderão significar uma melhoria considerável em termos de produtividade e consistência das soluções encontradas, implicando consequentemente um conhecimento mais aprofundado sobre o objeto de estudo (Meng, 2002). Já salientado anteriormente em Pereira *et al.*, (2013) os sistemas de monitorização híbridos foram pela primeira vez aplicados à monitorização de quebramares no decorrer dos trabalhos desta dissertação no Funchal em fevereiro de 2012.

A modelação física em modelo reduzido é igualmente utilizada nas mais diferentes aplicações. Modelos hidráulicos de linha de costa (Silva, 2010) e modelos de eficiência hidráulica (Gomes *et al.*, 2007) são exemplos de aplicações comuns dos modelos físicos aplicados à hidráulica e transversais praticamente a todas as grandes obras de engenharia. Modelação a 2D e 3D sobre quebramares é uma prática comum, visando uma diversidade de estudos passando pela estabilidade estrutural, galgamentos, comportamento dos planos de água a abrigar, dinâmica sedimentar, em fase de projeto e após a construção do protótipo. Sobre o quebramar do porto do Funchal foram realizados em 1991 estudos de estabilidade e galgamentos (LNEC, 1991), contudo sem complementaridade com outras técnicas.

A modelação matemática é igualmente de grande aplicabilidade em grande parte das áreas, sendo que na área das barragens (Mendes e Oliveira, 2008), linha de costa (Silva, 2010) e quebra-mares de taludes (Pereira, 2008) é de grande utilidade. Este último utiliza o programa “COBRAS” desenvolvido pela NASA, em linguagem FORTRAN, finalizado pela Universidade da Cantábria que permite a caracterização de uma superfície livre aleatória de um fluido e a presença de zonas não interconectáveis.

### **1.3 Porto do Funchal**

O porto do Funchal desde os seus primórdios sempre se revestiu de grande importância para o desenvolvimento e sustentabilidade da ilha da Madeira pela estreita relação obrigatoriamente imposta pela circunstância inequívoca de ser uma ilha no meio do oceano Atlântico, tratando-se da porta de entrada e saída para o resto do mundo, cuja principal função era servir de abrigo para as embarcações.

O porto do Funchal não era somente a porta de entrada de passageiros, mercadorias e notícias, mas era também ponto de passagem e refúgio para embarcações que usavam o porto do Funchal como escala de paragem logística.

Desde a sua construção, o porto do Funchal teve várias fases bem diferenciadas de desenvolvimento, alternando entre épocas de grande desenvolvimento e épocas de menor progresso, características de períodos bem definidos na história mundial, aliado ao facto de em épocas pontuais necessitar de se ajustar às exigências dos progressos naturais.

Alterações decorrentes da evolução dos navios, alterações associáveis a exigências comerciais e as alterações decorrentes dos desenvolvimentos tecnológicos de mercadorias foram os principais responsáveis pelos ajustamentos que foram necessários introduzir ao longo da história do porto do Funchal.

O porto do Funchal localiza-se na parte sudoeste da Ilha da Madeira, entre a Ponta da Cruz e a Barreirinha, formando uma pequena baía, protegido dos ventos do quadrante Norte pela encosta montanhosa, fatores preponderantes para a sua escolha como porto principal da Ilha.

Apesar das atividades portuárias existirem na baía do Funchal desde os descobrimentos datados do século XV, somente no século XVIII é que se sentiu verdadeiramente a



necessidade de construção de uma infraestrutura portuária propriamente dita, com estruturas de apoio e proteção decorrentes do aumento do tráfego marítimo.

Em 1762 foi construída a primeira ligação de terra ao Ilhéu de São José e em 1766 o primeiro cais de desembarque aproveitando a muralha já existente. Nos finais do século XIX (1890) concluiu-se a ligação ao Ilhéu da Pontinha. No entanto, devido ao tipo de construção e às características do mar nesta região, ocorreram diversos problemas com a nova expansão do porto do Funchal, sendo somente em 1895 que as obras de requalificação se finalizaram.

No ano de 1918, decorrente das crescentes necessidades de expansão do porto do Funchal, iniciaram-se diligências no sentido de dotar o porto de condições capazes de acompanhar os mais recentes desenvolvimentos. No entanto, somente em 1934 é que se iniciaram as obras de expansão do cais da Pontinha, sendo finalizadas em 1939 com mais 317 metros de extensão.

Em 1961 foi concluída mais uma fase de expansão do porto do Funchal com o prolongamento por mais 457 metros de quebramar.

Foi no ano de 1977 que se assistiu à maior modificação do porto do Funchal. Ocorreu uma grande expansão da infraestrutura portuária pela construção de um terminal de contentores, adaptação para terminal de pesca e ainda a construção dos silos de cereais e os silos da marinha.

Nos anos 80 do séc. XX, e após vários estudos e algumas obras de ampliação decorrentes da crescente relevância que foi ganhando como localização especial nas rotas comerciais, o porto do Funchal chegou à dimensão que tem hoje em dia (Sousa, 2004).

Mais recentemente, em 2010, foi inaugurada a Gare Marítima do Funchal, estrutura base fundamental para a atividade turística de receção de navios de cruzeiro, ao qual o porto do Funchal se converteu exclusivamente. A exclusividade exigida deveu-se ao facto de estar sobrecarregado pela atividade portuária comercial subjacente e por ter surgido a alternativa proporcionada pelo beneficiado porto do Caniçal, que pelas intervenções de melhorias registadas em 2008, tornou-se capaz de substituir o porto do Funchal na atividade portuária de mercadorias. Segundo os registos fornecidos pelos Portos da Madeira, em 1990 os navios de cruzeiro que atracaram no porto do Funchal foram 141, sendo que este valor foi de 295 no ano de 2010.

O quebramar do porto do Funchal é um quebramar de estrutura mista que se caracteriza por uma superestrutura com cortina defletora e um manto exposto protegido com

tetrápodes. Tem cerca de 1100 m de comprimento. Na implantação os fundos vão até aos -30 m, enquanto a crista da superestrutura se situa a cerca de 11 m de altura, ambos referidos ao Zero Hidrográfico (ZH).

O porto do Funchal está dividido em três zonas de acostagem, a zona Norte, a Zona Sul e o cais da Cidade. Apesar de ter três zonas claramente distintas, o estudo recaiu sobre o quebramar de proteção, na zona Sul.

O quebramar dispõe de três zonas de acostagem diferenciadas (figura 1.3), cada uma delas tendo batimetrias diferentes o que implica que dependendo das características de cada navio de cruzeiro, são usadas em conformidade. Na tabela 1.1 são apresentadas as batimétricas de cada uma das zonas de atracação.

Zona de Atracação	Comprimento (m)	Profundidade referida ao ZH
1	150	-3.0 a -6.0
2	425	-11.0
3	347	-11.0

Tabela 1.1 – Características das zonas de atracação 1, 2 e 3.

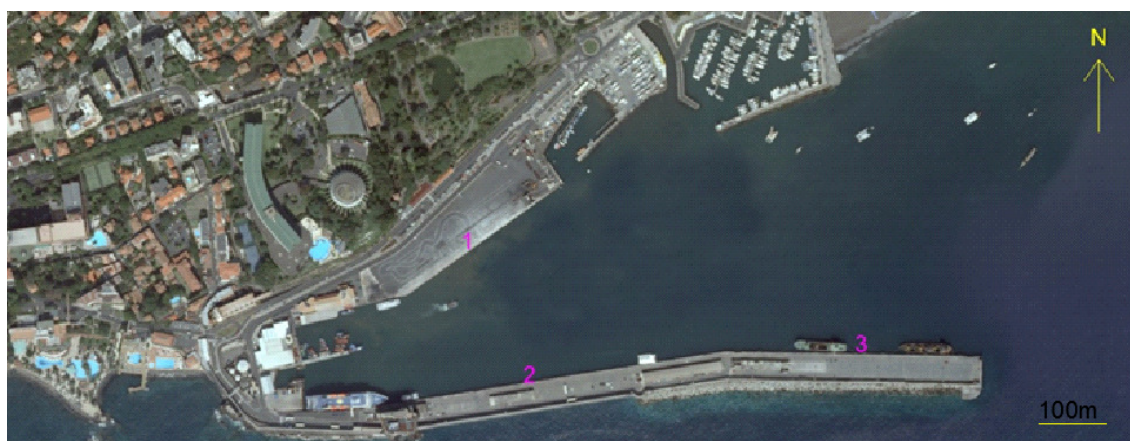


Figura 1.3 – Ortofotomapa do porto do Funchal. Zonas de atracação.

Na região Autónoma da Madeira existem instaladas duas bóias-ondógrafo, a da Ponta da Cruz, à profundidade de 100m, e a do Caniçal, à profundidade de 108 m. A análise da agitação marítima ao largo da RAM teve por base o regime de agitação marítima para a costa Sul da Ilha da Madeira, que fora por sua vez estabelecido com base nos dados existentes e descritos na nota técnica elaborada pela WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, Lda., para a Administração dos Portos da Madeira (APRAM), em outubro de 1998, intitulada “Regime de Agitação Marítima. Ondógrafo do Funchal” (Ramos, 2009).

Segundo Ramos, 2009, o porto do Funchal goza, hoje em dia, de uma procura sazonal. Os navios de cruzeiro têm as suas escalas muito concentradas com cerca de 90% delas entre outubro de maio (época alta) num total de cerca de 300, excedendo a oferta disponível. Procurando colmatar essa maior procura, na época alta, a APRAM vem a dotar o porto do Funchal de melhores condições, procurando corresponder às necessidades nesses meses.

Devido a essa procura, deram-se início, à data atual, a obras no sentido de dotar o porto do Funchal de mais um cais de acostagem. O volume de passageiro anual ronda atualmente o meio milhão.

Perante o que foi referido anteriormente, procurando aliado ainda ao facto dos navios de cruzeiro serem cada vez de maior dimensão (maior superfície exposta à ação do vento e necessidade de fundos mais profundos) implicando uma exigência de capacidade portuária consequentemente maior, torna-se imprescindível o acompanhamento minucioso da evolução morfológica deste tipo de infraestrutura.

#### **1.4 Organização do Trabalho**

Esta dissertação descreve a metodologia utilizada e os resultados obtidos, divididos em quatro partes distintas.

Na primeira parte procura-se identificar os problemas mais visíveis na superestrutura do quebramar do porto do Funchal decorrentes das várias vistorias ao local, proporcionando uma caracterização da infraestrutura e suas fragilidades de modo a direcionar o tipo de monitorização a efetuar.

Na segunda parte, define-se a metodologia adotada para os vários tipos de monitorização pertencente às campanhas de monitorização estrutural e sua respetiva caracterização. Descrevem-se as principais ações atuantes sobre o quebramar, focando-se a monitorização em duas ações principais: a agitação marítima e a atracação e desatracação de navios de cruzeiro. Caracterizam-se ainda as campanhas de recolha de dados *in situ* e analisam-se os resultados obtidos, fazendo-se a ponte para integração dos modelos físico e numérico num sistema integrado de monitorização.

Na terceira parte, caracterizam-se os modelos físicos e numéricos desenvolvidos, os quais usaram como *input* os dados provenientes das campanhas *in situ*, proporcionando o desenvolvimento de simulações e gerando diferentes cenários, direcionados

especificamente para este caso de estudo. A simulação para além da identificação dos fatores responsáveis, permite ainda criar cenários de rutura.

Na quarta parte do trabalho compara-se os diferentes resultados obtidos nas fases anteriores, identificando o grau de evolução da deterioração identificada, bem como a identificação do tipo de ações que provavelmente estiveram na origem dessa deterioração.

Deste modo, no capítulo 2 é definida a metodologia integrada para monitorização e controlo da segurança estrutural de quebramares, através de:

1. Medição de deslocamentos: i) através de campanhas de observação GNSS de longo período (Monitorização da Estabilidade da superestrutura do Quebramar – MEQ); e de curto período (Monitorização da Atracação e Desatracação de navios de cruzeiro – MAD); ii) através de técnicas clássicas de topografia (Monitorização dos Movimento macro dos Tetrápodes – MMT);
2. Medição de acelerações para obter as frequências naturais de vibração da superestrutura (MEQ e MAD);
3. Inspeções visuais onde foram registadas algumas das evidências de deteriorações mais notórias evidenciadas na superestrutura;
4. Comparação com o modelo físico e o modelo numérico do quebramar do porto do Funchal.

Neste capítulo é ainda descrita a campanha de teste inicial desenvolvida com o intuito de tomar conhecimento sobre quais as potencialidades e limitações das metodologias a aplicar, através da descrição das técnicas de observação e recolha de dados, conversão e tratamentos dos ficheiros de observação, *software* e equipamentos utilizados, descrição das redes de monitorização, definição das marcas físicas implementadas e a sua localização, e, ainda a caracterização do sistema de coordenadas local.

No capítulo 3 são caracterizadas as épocas iniciais de referência e descritas as campanhas de recolha de dados *in situ* e seus resultados pertencentes ao sistema de monitorização estrutural para cada um dos sistemas de monitorização definidos.

No capítulo 4 são descritas as instalações experimentais e equipamentos utilizados, descrita a separação dos materiais e a montagem do modelo e por fim caracterizados os ensaios realizados sobre o modelo físico reduzido do quebramar do porto do Funchal com o objetivo de avaliar a evolução morfológica das suas camadas constituintes.

No capítulo 5 são descritas cada uma das fases desenvolvidas sobre o modelo numérico do quebramar do porto do Funchal, com o propósito de compreender a evolução

morfológica das suas camadas internas através do estudo das variações nas suas frequências naturais de vibração, e ainda através do estudo de forças aplicadas sobre o quebramar simulando as forças que os navios de cruzeiro e a agitação marítima exercem sobre este.

No capítulo 6 são tecidas as conclusões finais devidamente apoiadas nos resultados obtidos em cada uma das fases do trabalho; são correlacionadas as diferentes técnicas e metodologias descritas num sistema integrado de monitorização apontando-se as contribuições inovadoras; bem como algumas recomendações para trabalhos futuros.

A presente dissertação procura contribuir para a caracterização e conhecimento do estado atual do quebramar do porto do Funchal e para a formulação de um sistema integrado de monitorização de infraestruturas portuárias através da conjugação de várias técnicas e metodologias de monitorização e controlo da segurança, procurando a idealização de um sistema completo de controlo integrado possível de aplicar a qualquer infraestrutura deste tipo.



## Capítulo 2

# Metodologias para a Monitorização e Controlo da Segurança Estrutural de Quebramares

### 2.1 Considerações Iniciais

Tendo em conta os efeitos da deterioração identificada no quebramar do porto do Funchal, tornou-se necessário definir o tipo de monitorização e controlo da segurança a realizar. De acordo com as especificidades próprias do quebramar do porto do Funchal, definiram-se campanhas de monitorização estrutural realizadas a partir de campanhas de observação *in situ* da sua superestrutura e dos tetrápodes.

Neste capítulo procura-se caraterizar o tipo de monitorizações realizadas e a sua posterior interligação com a modelação física e numérica.

Das diferentes ações atuantes sobre o quebramar, a agitação marítima e a atracação e desatracação de navios de cruzeiro, são as que direta e indiretamente mais influenciam a sua estabilidade. Ambas atuam sobre a superestrutura e sobre os tetrápodes, em particular, e sobre o quebramar num todo. A resposta estrutural devida a estas duas ações foi acompanhada através de campanhas de monitorização *in situ* com recolha direta de dados.

Através da modelação numérica foi analisada a influência direta da agitação marítima e da atracação e desatracação de navios de cruzeiro sobre a superestrutura, enquanto que através da modelação física foi analisado o impacto que a agitação marítima exerce diretamente sobre os tetrápodes e camadas de material submersas.

Assim, as campanhas de monitorização subdividiram-se em campanhas de medição de deslocamentos e campanhas de medição de vibrações.

Nas campanhas de medição de deslocamentos foram realizadas medidas de deslocamentos sobre a superestrutura e sobre os tetrápodes. A medição de deslocamentos na superestrutura foi realizada através da utilização do GNSS em campanhas de observação com vista à análise da resposta de longo prazo

(Monitorização da Estabilidade da superestrutura do Quebramar – MEQ) e campanhas de observação para a análise da resposta de curto prazo (Monitorização da Atracação e Desatracação de navios de cruzeiro – MAD) onde se procuraram detetar deslocamentos com magnitude superior ao milímetro; e campanhas de medição de deslocamentos dos tetrápodes utilizando técnicas clássicas de topografia (Monitorização dos Movimentos macro dos Tetrápodes – MMT) onde se procuravam identificar deslocamentos com uma magnitude superior ao decímetro.

Nas campanhas de medição de vibrações mediram-se acelerações para obter as frequências naturais de vibração da superestrutura (MEQ e MAD).

Para cada um dos sistemas de monitorização estabelecidos pertencentes ao sistema global de monitorização estrutural desenvolvido MEQ, MAD e MMT, foi necessário definir a metodologia de monitorização, o desenho da rede, as técnicas de observação, o tipo de equipamentos a utilizar e o *software* para processar as observações.

De modo a preparar e a programar as campanhas de monitorização, foi necessário definir a metodologia de atuação para cada um dos tipos de observação a realizar, de acordo com as suas especificidades próprias. Para tal, foram realizadas campanhas de teste, de modo a ser possível escolher as metodologias mais favoráveis para as diferentes monitorizações a efectuar.

Tendo em conta as fortes condicionantes dos meios técnicos e humanos, procurou-se que as campanhas teste pudessem fornecer a máxima informação possível sobre o desenho mais adequado das redes de monitorização, de forma a estas serem implementadas com sucesso, contemplando a sua localização, tipo e respetiva materialização, bem como a caracterização dos equipamentos a utilizar e o *software* de processamento de dados.

Uma vez que se pretendia desenvolver um sistema otimizado, foi tido em consideração que para cada um dos sistemas de monitorização a precisão a alcançar teria de ser a mais adequada dentro dos objetivos da monitorização, isto é, a metodologia de monitorização de cada um dos sistemas tinha de garantir uma precisão superior à ordem dos valores dos deslocamentos expectáveis para cada um dos tipos de monitorização.

Neste capítulo descrevem-se todos os procedimentos desenvolvidos para a definição da metodologia de observação GNSS na campanha de teste e onde foram estudadas as diferentes metodologias possíveis.

Na secção 2.2 é descrito a MEQ e a MAD, definindo-se a campanha de teste desenvolvida na fase inicial dos trabalhos. Esta campanha inicial foi desenvolvida com



o objetivo de verificar quais as condicionantes e potencialidades do sistema a implementar através da descrição das técnicas de observação e recolha de dados GNSS, conversão e tratamento dos ficheiros de observação e equipamentos utilizados relacionados com a MEQ e a MAD. São analisados os resultados obtidos pelo *software* de processamento de dados GNSS Leica Geo Office (versão 7.0.0.0) e GAMIT – TRACK (versão 10.35), evidenciando as vantagens e desvantagens na utilização de cada um para as campanhas de monitorização. É ainda descrita a rede de monitorização, as marcas físicas implementadas, a sua localização, construção e materialização. São discutidos os conceitos subjacentes às campanhas de monitorização da estabilidade do quebramar utilizando-se acelerómetros pelas implicações que as alterações nas frequências naturais de vibração possibilitam na monitorização do quebramar. São igualmente referenciadas as inspeções visuais e o modo de comparação dos resultados obtidos na modelação física e numérica analisados *à posteriori*. Na secção 2.3 é descrita a metodologia de recolha de dados com estação total para a MMT. É também caracterizada a rede de monitorização, com a definição das marcas físicas e a sua localização. Na secção 2.4 é descrita a conversão dos sistemas de coordenadas globais, para o sistema de coordenadas local adotado. Por fim, na secção 2.5 são tecidas algumas considerações finais relativamente a este capítulo.

## **2.2 Sistema de Monitorização da Estabilidade do Quebramar**

A monitorização da estabilidade do quebramar dividiu-se em dois tipos de monitorizações utilizando GNSS. A MEQ destinava-se a monitorizar a estabilidade da superestrutura do quebramar através de campanhas de observação de longa duração e a MAD através de campanhas de curta duração.

### **2.2.1 Medição de Deslocamentos com GNSS**

Tal como qualquer outro método de posicionamento, o GNSS tem algumas limitações quando utilizado em aplicações de precisão em engenharia. A obtenção de precisão sub-centimétrica no posicionamento absoluto GNSS é reconhecida como sendo a sua maior limitação, cujas limitações são impostas por diversos fatores e diferentes restrições.

Para se definir a abordagem e a metodologia adequada às campanhas de monitorização utilizando GNSS, foi realizada uma campanha teste, onde se procurou recriar condições semelhantes às existentes nos trabalhos futuros de modo a estabelecer reciprocidade entre o que se poderia obter em cada uma das campanhas de monitorização. Essa campanha serviria para testar as condições reais das campanhas futuras (distâncias entre pontos móvel e referência, cadência de observação, máscara de altura dos satélites, etc.) e desse modo definir que metodologia seria a mais adequada, bem como que precisão absoluta final poderia ser expectável, atendendo às fortes condicionantes logísticas (meios humanos e técnicos).

#### **2.2.1.1 Definição de Metodologia GNSS. Campanha Teste Forte de São Tiago**

Escolheu-se para ponto de estudo o vértice geodésico Forte de São Tiago. O vértice geodésico Forte de São Tiago para além de ser um ponto de fácil acesso e que dá garantias de estabilidade devido às suas características intrínsecas (pilar geodésico com fundações estáveis), está a uma distância semelhante da estação de referência utilizada (860 metros), a que os pontos objeto distribuídos sobre a crista do quebramar do porto do Funchal estão da mesma estação de referência (entre os 650 e 750 metros). A localização destes dois pontos encontra-se representada na figura 2.1.

A estação de referência utilizada foi a estação permanente do Funchal pertencente à ReNEP gerida pela Direção Geral do Território (DGT).



Figura 2.1 – Extrato do ortofotomapa com localização dos pontos objeto, estação permanente FUNC e o vértice geodésico Forte de São Tiago.

### Duração da Sessão

Foram realizadas 4 campanhas GNSS em 4 períodos consecutivos e relativamente próximos: dias 3, 4, 8, 9, 10, 11, 16, 17, 18 e 19 de março de 2010. A duração do 1º, 2º, 3º e 4º período de observação foram de: 21, 55, 24 e 72 horas respetivamente, num total de 172 horas de observações. A escolha destes períodos de observação foi condicionada pela disponibilidade dos equipamentos e pelas limitações ao acesso ao vértice geodésico. Para que a montagem da antena GNSS sobre o pilar do vértice geodésico do Forte de São Tiago não sofresse nenhuma variação posicional entre as diferentes campanhas, uma vez que houve interregnos entre os 4 períodos de observação com montagem e desmontagem da antena GNSS, a placa base foi mantida fixa ao pilar, conforme é possível observar nas fotografias apresentadas nas figuras 2.2 e 2.3.



Figura 2.2 – Vértice geodésico Forte de São Tiago.



Figura 2.3 – Montagem fixa.

Houve a necessidade de garantir que a antena GNSS seria estacionada sempre na mesma posição, de modo a não se introduzir mais um erro suplementar, o erro de centralização da antena.

Os ficheiros de observação de cada uma das 4 campanhas de observação foram divididos em ficheiros horários. Esta divisão foi realizada de forma a possibilitar

processamentos de múltiplas combinações e a obtenção de várias soluções, e deste modo estudar qual a duração da sessão mais adequada ao tipo de estudo que se pretendia realizar.

Os equipamentos GNSS utilizados para a realização da campanha de teste foram os indicados na tabela 2.1. Os recetores GNSS a estacionar nos pontos objeto, bem como a estação permanente estavam todos configurados com os mesmos parâmetros de cedência de observação e máscara de altura de satélites, 1 s e 15°, respetivamente. Ambos observaram os satélites dos sistemas GPS e GLONASS.

Tipo Estação	Antena GNSS	Recetor GNSS
Referência	Leica AT504GG	Leica GRX1200GGPRO
Ponto Objeto	Leica AX1203+GNSS	Leica GX1230+GNSS

Tabela 2.1 – Equipamentos GNSS utilizados.

Os dados de observação GNSS foram convertidos para o formato RINEX (Receiver INdependent Exchange Format), de modo a não limitar a sua utilização ao *software* de processamento de dados da marca dos equipamentos que recolheram os dados, e processados em seguida utilizando o *software* de processamento de dados GNSS Leica Geo Office e o *software* científico GAMIT – TRACK, através do método do posicionamento relativo (Xu, 2007).

Foram considerados vários períodos de observação. Os períodos considerados para a realização futura das campanhas de monitorização foram os períodos de duração de: 1, 2, 4, 6, 12 e 24 horas.

Para os períodos de observação definidos, foram aleatoriamente escolhidos 67 sessões das 172 horas de observação, cada uma com uma solução própria originando um grupo de 12 e 7 soluções de cada período horário, isto é, foram agrupadas 12 soluções de 1 hora, 12 soluções de 2 horas, 12 soluções de 4, 12 soluções de 6, 12 soluções de 12 horas e 7 soluções de 24 horas.

Cada grupo de combinações originou uma solução final a partir da média simples das soluções individuais de cada período horário.

Nesta fase inicial, o processamento de dados GNSS foi realizado apenas com o *Software* Leica Geo Office, sendo discutidos os resultados da utilização de diferentes *software* de processamento de dados GNSS mais adiante. Na tabela 2.2 é apresentada a solução final para cada um dos períodos horários no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE, obtida pela média simples de cada uma das 12 soluções escolhidas

aleatoriamente. Como se pode verificar, as soluções encontradas para cada um dos períodos escolhidos são consistentes entre si, apresentando diferenças da ordem do milímetro. O Anexo A apresenta os resultados calculados para cada uma das 12 soluções escolhidas aleatoriamente.

Na tabela 2.3 é apresentada a diferença entre a média final de cada solução horária calculada e a solução global das 172 horas para cada uma das componentes e respetiva distância.

As coordenadas obtidas para o vértice geodésico Forte de São Tiago no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE considerando a solução global das 172 horas de observação são:  $E(m) = 322294.9356$ ;  $N(m) = 3613359.9548$ ;  $h(m) = 18.5763$ .

Período (h)	E(m)	N(m)	h(m)
1	322294.9359	3613359.9549	18.5755
2	322294.9358	3613359.9550	18.5748
4	322294.9356	3613359.9549	18.5748
6	322294.9354	3613359.9548	18.5764
12	322294.9356	3613359.9550	18.5758
24	322294.9360	3613359.9545	18.5755

Tabela 2.2 – Soluções finais para cada período horário considerado.

Período (h)	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta h$ (m)	$\Delta D$ (m)
1	0.0003	0.0001	0.0008	0.0076
2	0.0002	0.0002	0.0015	0.0015
4	0.0000	0.0001	0.0015	0.0014
6	0.0002	0.0000	0.0001	0.0002
12	0.0000	0.0002	0.0005	0.0006
24	0.0004	0.0004	0.0008	0.0010

Tabela 2.3 – Diferenças entre a solução de cada bloco horário e a solução global.

A tabela 2.4 apresenta o desvio padrão de cada um dos blocos horários para a média simples das 12 soluções. A tabela 2.5 apresenta o desvio padrão em relação ao valor mais provável relativa à observação global das 172 horas.

Desvio Padrão	1 Hora	2 Horas	4 Horas	6 Horas	12 Horas	24 Horas
E (m)	0.0027	0.0021	0.0022	0.0018	0.0016	0.0009
N (m)	0.0015	0.0013	0.0014	0.0014	0.0011	0.0005
h (m)	0.0032	0.0018	0.0019	0.0026	0.0013	0.0007

Tabela 2.4 – Desvio padrão para cada uma das 12 soluções de cada período horário.

Desvio Padrão	1 Hora	2 Horas	4 Horas	6 Horas	12 Horas	24 Horas
E (m)	0.0027	0.0022	0.0022	0.0018	0.0016	0.0011
N (m)	0.0015	0.0013	0.0014	0.0014	0.0011	0.0007
h (m)	0.0033	0.0024	0.0025	0.0026	0.0014	0.0012

Tabela 2.5 – Desvio padrão de cada período horário relativamente à solução global.

Como se pretendia ainda estimar as variações obtidas entre cada uma das 12 soluções horárias iniciais entre si, isto é, pela análise da tabela 2.3 pode-se verificar que a média final das 12 soluções de cada bloco horário são muito próximas entre si, no entanto, não existe informação sobre as variações dentro de cada bloco, sendo assim ainda necessário estudar a aderência entre cada uma das 12 soluções. Para isso, foram efetuadas comparações diretas entre cada uma das soluções dentro de cada bloco horário, procurando estimar a variação máxima das soluções encontradas.

Esta confirmação torna-se também importante, porque é necessário garantir que as soluções obtidas dentro do mesmo bloco horário são também consistentes entre si, de modo a que aquando das campanhas de monitorização se possa assumir que a campanha realizada terá sempre uma precisão superior à considerada como mínima, uma vez que as diferenças máximas entre soluções nunca serão superiores à encontrada.

A tabela 2.6 apresenta as diferenças máximas encontradas entre soluções do mesmo bloco horário.

	1 Hora	2 Horas	4 Horas	6 Horas	12 Horas	24 Horas	Global
$\Delta E$ Max (m)	0.0106	0.0073	0.0069	0.0064	0.0053	0.0025	0.0013
$\Delta N$ Max (m)	0.0048	0.0053	0.0045	0.0043	0.0036	0.0011	0.0007
$\Delta h$ Máx (m)	0.0127	0.0060	0.0064	0.0087	0.0038	0.0017	0.0020

Tabela 2.6 – Diferenças máximas dentro de cada bloco horário para cada uma das 12 soluções.

Todas as combinações e soluções são apresentadas no Anexo A.

Se o sistema de coordenadas utilizado para o estudo fosse a realização ITRF93 em vez do sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE, as diferenças encontradas e apresentadas nas tabelas 2.3 e 2.4 seriam obviamente da mesma ordem de grandeza e consistentes entre si.

Considerando os desvios padrão obtidos e as diferenças entre cada uma das soluções de cada bloco horário, aliado ao tipo de infraestrutura que se pretende monitorizar, bem

como o número de pontos objeto a monitorizar e considerando o tempo disponível, o período de observação de 2 horas foi o escolhido.

A escolha recaiu sobre os períodos de 2 horas, pois ficou demonstrado ser aquele que oferecia maior benefício relativamente à eficiência, resultados e necessidade adequada ao tipo de monitorização proposta, ou seja, mesmo que o período de observação fosse superior melhorando, conseqüentemente, as diferenças entre observações, as variações das instabilidades que se procuram monitorizar são superiores à precisão obtida (ver *Elipses de Erro e Intervalos de Confiança – Teoria e Cálculo*). A escolha deste período foi também condicionada pelos meios humanos e recetores disponíveis.

### *Elipses de Erro e Intervalos de Confiança – Teoria e Cálculo*

Os conceitos de região de erro e de região de confiança são diferentes. Pode-se definir a priori, isto é, antes da observação, elipsóides, elipses e intervalos de erro com valores hipotéticos das variâncias da população, usando a distribuição normal e qui-quadrado. Estas regiões podem (e devem) ser usadas no planeamento das observações. A posteriori, isto é, após a observação, pode-se definir elipsóides, elipses e intervalos de confiança para o vector médio desconhecido, ou para as suas componentes, com os elementos da matriz de variância empírica (S), usando a estatística  $T^2$  de Hotelling. Também se podem realizar testes de hipóteses sobre o vector médio com esta estatística e a distribuição F de Snedecor-Fisher. Deste modo, para analisar as discordâncias resultantes das séries de vetores processados recorre-se a uma metodologia baseada em Casaca (1999). Para isso, considera-se uma amostra de tamanho n de vetores discordância num espaço tridimensional, com a seguinte parametrização (N,E,h), dispostos em coluna, numa matriz  $X(3,n)$ , que se designará por matriz amostra:

$$X = [X_1 \dots X_n], \quad X_i = \begin{bmatrix} \delta N_i \\ \delta E_i \\ \delta h_i \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

O vector média empírica da amostra é o vetor:

$$\bar{m} = \begin{bmatrix} m_N \\ m_E \\ m_h \end{bmatrix} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.2)$$

A matriz de variância-covariância empírica da amostra é a matriz quadrada, simétrica definida positiva:

$$S = \begin{bmatrix} s_N^2 & s_{NE} & s_{Nh} \\ s_{NE} & s_E^2 & s_{Eh} \\ s_{Nh} & s_{Eh} & s_h^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \vec{m}) (X_i - \vec{m})^T \quad (2.3)$$

Sob a hipótese da normalidade da distribuição das discordâncias, o vetor média empírica  $\vec{m}$  tem uma distribuição multinormal, com valor esperado  $E(\vec{m})$  e matriz de variância-covariância  $V(\vec{m})$ :

$$E(\vec{m}) = \vec{\mu} = \begin{bmatrix} \mu_N \\ \mu_E \\ \mu_h \end{bmatrix}, \quad V(\vec{m}) = \frac{1}{n} \Sigma = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} \sigma_N^2 & \sigma_{NE} & \sigma_{Nh} \\ \sigma_{NE} & \sigma_E^2 & \sigma_{Eh} \\ \sigma_{Nh} & \sigma_{Eh} & \sigma_h^2 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Para uma distribuição normal, a probabilidade da magnitude do erro encontrado ser inferior ao valor do desvio padrão é de aproximadamente 68%; a probabilidade da magnitude do erro encontrado ser inferior a duas vezes o valor do desvio padrão é de aproximadamente 95%; e a probabilidade da magnitude do erro encontrado ser inferior a três vezes o valor do desvio padrão é de aproximadamente 99.7%.

A verificação da distribuição conjunta gaussiana foi verificada através do método proposto por Wang (2013). Desta forma, é garantida a Gausseanidade de cada uma das distribuições marginais. De qualquer forma, esta foi verificada através do teste de Kolmogorov-Smirnov para as componentes E, N e h para um nível de significância de 5%. Os valores de prova (valor-p) para cada uma das componentes dos referidos testes são apresentados na tabela 2.7.

	E	N	h
Kolmogorov-Smirnov	0.746	0.836	0.681

Tabela 2.7 – Valor-p para o teste de Kolmogorov-Smirnov ( $\alpha=5\%$ ).

Os valores-p, já calculados por Laplace no séc. XVIII, foram popularizados por Ronald Fisher na década de 1920. O valor-p é a probabilidade de observar valores à direita de uma ocorrência de uma dada distribuição e depende fortemente da distribuição.

O teste de Kolmogorov-Smirnov é um teste de ajustamento da amostra a uma dada distribuição, necessitando da especificação de parâmetros e sendo mais vocacionado para amostras de tamanho grande. A estatística do teste (não sendo probabilidades) assume valores entre zero e um, em que a proximidade de um indica um bom



ajustamento da amostra à distribuição em causa. Neste caso, o teste considerado comprova a Gausseaneidade da amostra. Poderiam ser verificados outros testes, como por exemplo, o de Lilliefors, Anderson-Darling, ou do qui-quadrado. No entanto, não se considerou necessário, face ao anteriormente exposto.

Para um período de 2 horas de observação é possível garantir com um grau de confiança de 99.7% que para valores superiores a 7.5 mm (majoração do triplo do desvio padrão) definidas são deslocamentos da infraestrutura no ponto objeto específico, e não diferenças inerentes a este tipo de técnica de observação.

Este valor é suficiente, pois para este tipo de infraestrutura não se pretende identificar deslocamentos inferiores ao indicado pelo facto de não serem suficientemente significativos. Deste modo, foi possível comprovar a precisão alcançável para uma linha de base da ordem dos 800 metros.

Pela análise da tabela 2.6, verifica-se igualmente que as diferenças encontradas entre as campanhas de 2 horas de duração são inferiores ao valor assumido como valor para o qual se considera deslocação do ponto objeto na infraestrutura.

Segundo Schofield e Breach (1972), elipse de erro é uma forma conveniente de expressar graficamente a incerteza posicional de um ponto, e sendo absoluta, fornece a medida de incerteza relativa do ponto analisado em relação ao ponto fixo da rede. Geralmente, a representação das três componentes de uma posição tem um erro com distribuição de probabilidade diferente, isto é, têm desvios padrão distintos. A forma do elipsóide é determinada pelos desvios padrão e sua correlação. Geralmente, devido às correlações entre as componentes, os eixos do elipsóide não são coincidentes com os eixos das próprias coordenadas. Se os desvios padrão para as três componentes são idênticos, o elipsóide gerado toma a forma de uma esfera (Langley, 1991).

A figura 2.4 apresenta o elipsóide de erro calculado para os dados de observação.

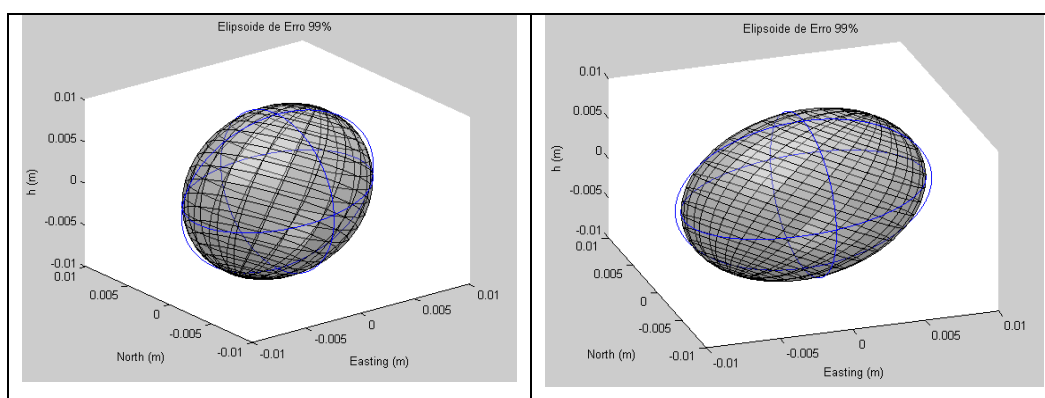


Figura 2.4 – Elipsóide de erro para as componentes N, E e h com um grau de confiança de 99%, visto de duas perspetivas diferentes.

Se uma das componentes não for considerada para o cálculo, pode-se construir uma elipse de erro. A figura 2.5 ilustra a elipse de erro obtido para as componentes E e N.

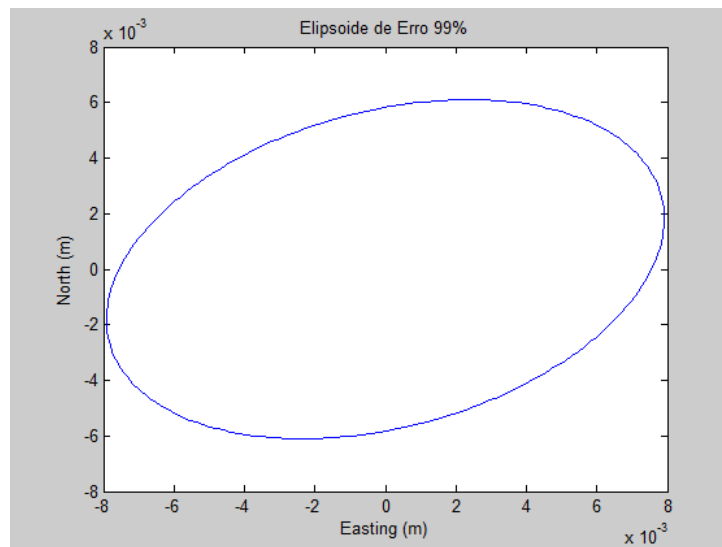


Figura 2.5 – Elipse de erro para as componentes E e N com um grau de confiança de 99%.

Utilizando os desvios padrão calculados e utilizando as correspondentes correlações, o semi-eixo maior e o semi-eixo menor podem ser calculados (Langley, 1991). A figura 2.6 ilustra a elipse de erro e respectivo retângulo do erro padrão.

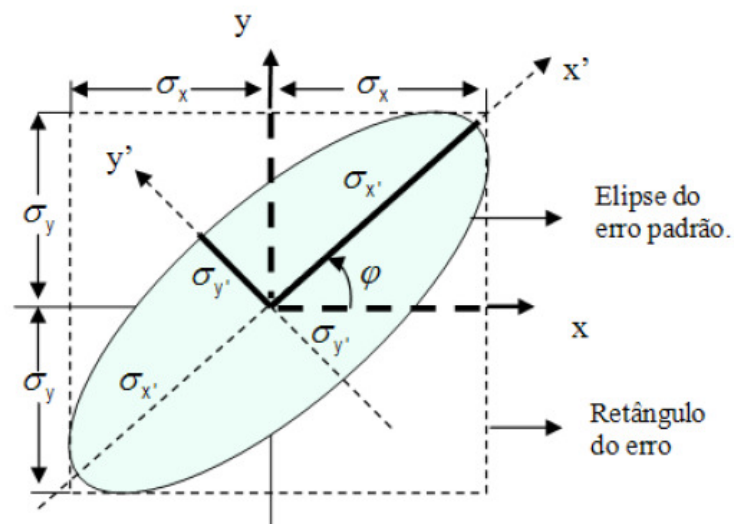


Figura 2.6 – Elipse de erro e retângulo do erro padrão.

Segundo Carvalho (2009), os semi-eixo maior e semi-eixo menor podem ser obtidos pelas expressões 2.5 e 2.6 respectivamente.

$$a = \sqrt{\sigma_{max}^2} = \frac{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)}{2} + \sqrt{\frac{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2}{4} + \sigma_{xy}^2} \quad (2.5)$$

$$b = \sqrt{\sigma_{min}^2} = \frac{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)}{2} - \sqrt{\frac{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2}{4} + \sigma_{xy}^2} \quad (2.6)$$

No Anexo B e C são apresentadas as rotinas em MATLAB® utilizadas para a representação do elipsoide de erro, das elipses de erro e cálculo dos semi-eixos, respetivamente. Considerando a elipse de erro apresentada na figura 2.6, os valores para o semi-eixo para cada um das componentes são respetivamente: 6.8 mm, 4.0 mm e 7.5 mm. Considerando o valor encontrado para a componente h como sendo o valor mínimo de deslocamento significativo para este tipo de infraestrutura, tomou-se este valor referência para todas as componentes, convertendo a elipse e elipsóide de erro numa esfera de erro de raio de 7.5 mm.

Este valor é suficiente, pois para este tipo de infraestrutura não se pretende identificar deslocamentos inferiores ao indicado pelo facto de não serem suficientemente significativos. Deste modo, foi possível comprovar a precisão alcançável para uma linha de base da ordem dos 800 metros. Pela análise da tabela 2.6, verifica-se igualmente que as diferenças encontradas entre as campanhas de 2 horas de duração são inferiores ao valor assumido como valor para o qual se considera deslocação do ponto objeto na infraestrutura.

### Metodologia de Observação e Parâmetros de Processamento GNSS

Definida a duração da sessão de observação para as campanhas GNSS, procurou-se definir a metodologia completa de observação e processamento de dados procurando garantir a melhor configuração de acordo com o tipo de monitorização a efetuar.

Procurou-se definir uma metodologia de observação que otimizasse o desempenho das observações GNSS através do processamento mais adequado para este caso. Assim, realizaram-se vários testes de modo a procurar a melhor configuração, nomeadamente:

- Sistema(s) GNSS a usar – GPS ou GPS+GLONASS;
- Órbitas precisas ou difundidas;
- Frequência de amostragem;

- Máscara de altura dos satélites;
- Modelos troposféricos e estimação de parâmetros;
- Combinação livre da ionosfera ou L1.

Foram selecionados os mesmos 12 intervalos de observação já escolhidos inicialmente para a definição do período de observação, fazendo-se a comparação através da alteração dos parâmetros iniciais.

Considerando o atual conhecimento e literatura publicada, pode-se afirmar:

- 1) Em linhas de base curtas não há qualquer benefício em utilizar órbitas precisas em vez de difundidas (só em linhas de base superiores a 20 km);
- 2) Em linhas de base curtas não há qualquer benefício por se utilizar a combinação livre da ionosfera em vez de L1 (só para linhas de base superiores a 5 km);
- 3) Em linhas de base curtas não há qualquer benefício em se estimar parâmetros troposféricos por cada estação GNSS, usando-se somente um modelo para troposfera;
- 4) No processamento estático (superior a 1 h de duração) não há qualquer benefício em aumentar a frequência de amostragem (cadência das observações), ou seja, usar 30 s, 15 s, 5 s, 1s, ou 20 Hz os resultados não se alteram. No caso cinemático é diferente;
- 5) Se o *software* estiver preparado e o processamento for corretamente efetuado, a inclusão de observações GLONASS acrescenta (à data) o número de observações às observações GPS em cerca de 40%, melhorando consequentemente os resultados.
- 6) Os *software* científicos, normalmente, só apresentam melhores resultados em linhas de base longas (acima de 20 km, por exemplo).

Inicialmente começou-se por estudar a diferença de configuração pela alteração da utilização das órbitas difundidas pelas órbitas precisas.

Segundo Dach *et al.*, (2007), as órbitas difundidas têm um erro médio quadrático de 2.5 m o que corresponde a um erro de 0.1 ppm, ou seja, uma linha de base de 1km terá um erro médio quadrático de 0.1mm devido aos erros orbitais, se usar as órbitas precisas que têm um erro de 5 cm o que corresponde a um erro de 0.002 ppm na linha de base. Os resultados parecem confirmar que não há qualquer ganho para linhas de base até 10 km na utilização de órbitas precisas em vez das difundidas. Posto isto, e apesar de se saber desde logo à partida qual o resultado que se obteria pela utilização ou não das órbitas precisas para uma linha de base de 800 m, foi mantido o estudo. Pelos resultados obtidos e apresentados no Anexo D, verificou-se, tal como era esperado, que não existem variações no resultado final pela utilização das órbitas precisas em detrimento das órbitas difundidas. A tabela 2.8 apresenta as coordenadas finais calculadas a partir

da média simples das 12 épocas de observação e desvios padrão utilizando as órbitas difundidas e o resultado utilizando as órbitas precisas. Apresenta-se igualmente a diferença entre valores das coordenadas e desvios padrão.

Órbitas	E(m)	N(m)	h(m)	DesvP E (m)	DesvP N (m)	DesvP h (m)
Difundidas	322294.9358	3613359.9550	18.5748	0.0021	0.0013	0.0018
Precisas	322294.9358	3613359.9550	18.5747	0.0020	0.0013	0.0019
Diferença	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001

Tabela 2.8 – Órbitas difundidas vs. órbitas precisas.

Em seguida o estudo recaiu sobre a frequência de amostragem das observações. Por princípio quanto maior for a frequência de amostragem das observações maior será o número de observações e consequentemente maior número de dados para processamento. Contudo, há aspetos logísticos que são importantes acautelar como a capacidade do cartão de memória e a frequência de amostragem das observações da estação de referência a utilizar.

Uma vez que a estação permanente escolhida para a campanha de teste foi a estação permanente do Funchal pertencente à (ReNEP) gerida pela (DGT) ([http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/geodesia/redes\\_geodesicas/renep/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/redes_geodesicas/renep/)) cuja cadência de observação disponibilizada, por protocolo de colaboração, 1 s, foi considerada como a adequada à partida. Realizou-se um teste comparativo entre sessões com uma cadência de observação de 30 s e com uma cadência de observação de 1 s. Analisaram-se as diferenças entre as soluções, em especial a dispersão e o desvio padrão.

Para qualquer uma das cadências de observação escolhidas, a capacidade do cartão de memória de 64 MB mostrou ter capacidade suficiente para o registo dos dados. Verificou-se que uma hora de observação à cadência de 1 s ocupa no máximo 1.5 MB, independentemente do número de satélites observados e de se utilizar os dois sistemas GNSS.

A tabela 2.9 apresenta a comparação entre a média final calculada com as duas cadências de observação e desvio padrão. Apresenta-se igualmente a diferença entre os valores das coordenadas e desvio padrão.

Cadência (s)	E(m)	N(m)	h(m)	DesvP E (m)	DesvP N (m)	DesvP h (m)
1	322294.9358	3613359.9550	18.5748	0.0021	0.0013	0.0018
30	322294.9359	3613359.9551	18.5751	0.0022	0.0014	0.0016
Diferença	0.0001	0.0001	0.0003	0.0001	0.0001	0.0002

Tabela 2.9 – Cadência de 1 segundo vs. cadência de 30 segundos.

No Anexo D, são apresentados todos os resultados obtidos das duas cadências de observação.

Variando o valor da máscara de altura dos satélites implica obrigatoriamente uma escolha seletiva de um número maior ou menor de satélites observáveis. Segundo Xu (2007), à medida que os satélites observados se aproximam da linha do horizonte são mais afetados pelos erros atmosféricos e pela reflexão de sinais (multicaminho). Deste modo, dever-se-á escolher uma máscara de altura de satélites que não seja muito próxima do horizonte para eliminar os satélites com alturas mais baixas, nem uma máscara de altura demasiado alta para não reduzir consideravelmente o número de satélites observados.

Para o teste, foram escolhidos valores de altura de 5°, 10° e 15°. Para os 12 blocos de observação de 2 horas obtém-se uma consistência nos resultados obtidos para cada um dos valores de altura escolhidos quando analisados os seus desvios padrão para cada uma das componentes. A tabela 2.10 apresenta as diferenças entre os diferentes desvios padrão para cada um dos valores de altura de satélites considerados. Os valores de altura considerados tiveram em atenção as limitações existentes pelas obstruções do lado abrigado do porto do Funchal (lado Norte) e as reflexões existentes pela superfície do mar. Aumentando em demasiado a altura dos satélites reduziria o número de satélites disponíveis, sendo que, em oposição, a diminuição da altura dos satélites implicaria a utilização de satélites com maior probabilidade de obstrução e reflexão de sinais.

Altura (°)	E(m)	N(m)	h(m)	DesvP E (m)	DesvP N (m)	DesvP h (m)
5	322294.9357	3613359.9551	18.5744	0.0021	0.0013	0.0023
10	322294.9358	3613359.9550	18.5746	0.0021	0.0013	0.0019
15	322294.9358	3613359.9550	18.5748	0.0021	0.0013	0.0018

Tabela 2.10 – Diferenças para as máscaras de altura dos satélites para os 5°, 10° e 15°.

No Anexo D, são apresentados todos os resultados da alteração da máscara de altura dos satélites.

Quando estudado o impacto da utilização ou não dos modelos troposféricos e dos modelos ionosféricos, os resultados que ambos apresentam são bastante distintos, bem como a sua influência nos resultados finais. Enquanto os impactos provocados pela ionosfera podem ser efetivamente removidos através das combinações de fase lineares “*ionospheric-free*” nos recetores de dupla frequência e em linhas de base móvel-referência curta, se o atraso troposférico não for corretamente corrigido originará erros nas posições calculadas (Meng, 2002).

Apesar do atraso ionosférico ser possível remover pela combinação linear nos recetores de dupla frequência, o atraso troposférico não é possível de ser removido pela combinação livre da ionosfera (Hofmann-Wellenhof *et al.*, 1997). Este efeito varia com o ângulo de altura, pois valores baixos implicam que os sinais dos satélites são mais afetados pela troposfera (Meng, 2002).

O atraso ionosférico não varia muito entre estações próximas. Para linhas de base curtas, inferiores a 5 ou 10 km (depende da latitude e da posição no ciclo de atividade solar, períodos de 11 anos, valores máximos em 2013) não há qualquer vantagem em se utilizar a combinação livre da ionosfera em vez de L1. A razão é que a correção é muito pequena mas, por outro lado, a combinação livre da ionosfera amplia o ruído da observação em relação ao ruído de L1 (Teunissen e Kleusberg, 1998).

Assim, torna-se evidente que a não utilização de modelos troposféricos e ionosféricos (tabelas 2.11 e 2.12), implicará uma degradação efetiva das posições calculadas. São apresentados os resultados no Anexo D.

	E(m)	N(m)	h(m)	DesvP E (m)	DesvP N (m)	DesvP h (m)
Conjunto	322294.9358	3613359.9550	18.5748	0.0021	0.0013	0.0018
Sem Troposfera	322294.9369	3613359.9548	18.5846	0.0021	0.0013	0.0019
Diferença	0.0011	0.0002	0.0098	0.0000	0.0000	0.0001

Tabela 2.11 – Resultados com e sem modelo da troposfera.

Por fim, foi estudado as vantagens e desvantagens da utilização em conjunto do sistema GLONASS com o sistema GPS.

	E(m)	N(m)	h(m)	DesvP E (m)	DesvP N (m)	DesvP h (m)
Conjunto	322294.9358	3613359.9550	18.5748	0.0021	0.0013	0.0018
Sem Ionosfera	322294.9352	3613359.9551	18.5747	0.0021	0.0013	0.0017
Diferença	0.0006	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001

Tabela 2.12 – Resultados com e sem combinação livre da ionosfera.

O sistema GLONASS é um sistema militar à semelhança do sistema GPS, que foi inicialmente desenvolvido na década de 80 do século passado. Em oposição ao sistema GPS que foi-se cimentando no mercado massificando o seu uso ao longo dos anos e, consequentemente, diversificando a sua utilização pelas diferentes e diversas áreas, o GLONASS com a crise sentida na antiga União Soviética entrou em decadência, sendo somente no início do século XXI que recomeçou a sua atualização.

Uma vez que para este tipo de sistemas globais de posicionamento e navegação por satélite estarem em plena utilização são necessários ver-se garantidos alguns requisitos, nomeadamente no segmento espacial e no segmento de controlo, tornando-se fundamental estudar qual a influência introduzida pela utilização do sistema GLONASS no resultado a calcular, de forma a avaliar o seu contributo na qualidade final dos resultados obtidos. Este aspeto tornou-se necessário esclarecer uma vez que aquando da realização das campanhas (2009/2010) existiam dúvidas sobre o pleno funcionamento deste sistema, quer no segmento espacial, quer do segmento de controlo. Assim, considerou-se fundamental saber se, mais do que melhorar as soluções encontradas para as posições calculadas, as soluções calculadas não eram degradadas pela utilização em simultâneo dos dois sistemas GNSS.

Para cada um dos doze blocos de duas horas de observação foram processados os dados mantendo todas as configurações inalteradas entre processamentos à exceção da configuração de utilização do sistema GPS sozinho, ou a utilização do sistema GPS em simultâneo com o sistema GLONASS (tabela 2.13).

Nas figuras 2.7, 2.8 e 2.9 são apresentadas as configurações e os diferentes resultados obtidos pela alteração da utilização do sistema GPS ou pela utilização conjunta do sistema GPS e o sistema GLONASS, utilizando o *software* Leica Geo Office para processamento dos dados.



GNSS	E(m)	N(m)	h(m)	DesvP E (m)	DesvP N (m)	DesvP h (m)
GPS	322294.9358	3613359.9550	18.5748	0.0021	0.0013	0.0018
GPS+GLONASS	322294.9358	3613359.9551	18.5748	0.0021	0.0013	0.0019
Diferença	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001

Tabela 2.13 – GPS vs. GPS+GLONASS.

Property	Value	Property	Value
General		General	
Cut-off angle	15 °	Cut-off angle	15 °
Ephemeris type	Precise	Ephemeris type	Precise
Solution type	Automatic	Solution type	Automatic
GNSS type	GPS	GNSS type	GPS/GLONASS
Disabled satellites	-	Disabled satellites	-
Strategy		Strategy	
Frequency	Automatic	Frequency	Automatic
Fix ambiguities up to	80 km	Fix ambiguities up to	80 km
Minimum duration for float solution (static)	300 sec	Minimum duration for float solution (static)	300 sec
Sampling rate	Use all	Sampling rate	Use all
Tropospheric model	Hopfield	Tropospheric model	Hopfield
Ionospheric model	Automatic	Ionospheric model	Automatic
Stochastic modelling	Yes	Stochastic modelling	Yes
Minimum distance	8 km	Minimum distance	8 km
Ionospheric activity	Automatic	Ionospheric activity	Automatic
Extended output		Extended output	
DOP values, Azimuth/Elevation	Yes	DOP values, Azimuth/Elevation	Yes
Storage rate for DOPs/Azimuth/Elevation	20% of data rate	Storage rate for DOPs/Azimuth/Elevation	20% of data rate
Residuals	No	Residuals	No
Auto. Processing		Auto. Processing	
Minimum time for common data	5 min	Minimum time for common data	5 min
Maximum baseline length	50 km	Maximum baseline length	50 km
Processing mode	All baselines	Processing mode	All baselines
Coordinate seeding strategy	Time	Coordinate seeding strategy	Time
Session by session	No	Session by session	No
Use float solutions as reference	No	Use float solutions as reference	No
Re-compute already computed baselines	No	Re-compute already computed baselines	No
Compute baselines between control triplets	No	Compute baselines between control triplets	No

Figura 2.7 – Parâmetros de configuração de processamento de dados.

Pela análise dos resultados apresentados na tabela 2.13, verifica-se uma concordância dos valores obtidos pela utilização dos dois sistemas. Contudo, pelas figuras 2.7, 2.8 e 2.9 (saídas do processamento do Leica Geo Office), verifica-se que no cálculo da linha de base Estação Permanente–Forte de São Tiago, bem como no cálculo das coordenadas do ponto Forte de São Tiago os valores de qualidade internos do *software* são mínimos (sub-milimétricos) quando processados os dados somente com o sistema GPS, enquanto que os dados processados pelo sistema GPS e sistema GLONASS em conjunto, os erros internos planimétricos e altimétricos reportados pelo *software* são da ordem do metro. Pela análise dos valores SdX, SdY e SdZ (caixas a vermelho assinaladas nas figuras 2.8 e 2.9), verifica-se uma diferença significativa nos desvio padrão entre ambas as configurações (GPS e GPS+GLONASS), no entanto, as coordenadas obtidas são praticamente iguais usando-se o GPS ou o GPS+GLONASS.

Property	Value	Property	Value
Reference Id	FUNC	Reference Id	FUNC
Rover Id	mp_0316_10323600	Rover Id	mp_0316_10323600
Stored Status	No	Stored Status	No
Ambiguity Status	yes	Ambiguity Status	yes
GNSS Type	GPS	GNSS Type	GPS/GLONASS
Start	03/17/2010 23:59:45	Start	03/17/2010 23:59:45
End	03/18/2010 01:59:40	End	03/18/2010 01:59:40
Duration	1h 59' 55"	Duration	1h 59' 55"
Type	Static	Type	Static
Solution type	Phase: fix all	Solution type	Phase: fix all
Frequency	L1 + L2	Frequency	L1 + L2
dX	310.1403	dX	310.1404
dY	793.8564	dY	793.8563
dZ	-122.2258	dZ	-122.2257
Posn. Qlty	0.0001	Posn. Qlty	0.6517
Hgt. Qlty	0.0002	Hgt. Qlty	1.1891
Posn. + Hgt. Qlty	0.0002	Posn. + Hgt. Qlty	1.3559
Slope Distance	861.0076	Slope Distance	861.0076
Sd. Slope Distance	0.0001	Sd. Slope Distance	0.4430
Ref. Ant. Hgt.	0.0000	Ref. Ant. Hgt.	0.0000
Rov. Ant. Hgt.	0.0000	Rov. Ant. Hgt.	0.0000
Sd. X	0.0002	Sd. X	1.0763
Sd. Y	0.0001	Sd. Y	0.5129
Sd. Z	0.0001	Sd. Z	0.6458
M0	0.3822	M0	2245.6425
Q11	0.00000023	Q11	0.00000023
Q12	-0.00000005	Q12	-0.00000005
Q13	0.00000009	Q13	0.00000009
Q22	0.00000005	Q22	0.00000005
Q23	-0.00000002	Q23	-0.00000002
Q33	0.00000008	Q33	0.00000008
GDOP (min)	2.0	GDOP (min)	1.7
GDOP (max)	4.1	GDOP (max)	4.1
PDOP (min)	1.7	PDOP (min)	1.6
PDOP (max)	3.4	PDOP (max)	3.4
HDOP (min)	0.9	HDOP (min)	0.8
HDOP (max)	1.8	HDOP (max)	1.8
VDOP (min)	1.5	VDOP (min)	1.3
VDOP (max)	2.9	VDOP (max)	2.9

Figura 2.8 – Resultados de qualidade no cálculo da linha de base estação permanente Forte de São Tiago.

O desvio padrão dos dois conjuntos de soluções é então o indicador da melhor estratégia a adotar.

Property	Value	Property	Value
Point Id	mp_0316_10323600	Point Id	mp_0316_10323600
Epoch	03/17/2010 23:59:45	Epoch	03/17/2010 23:59:45
Stored Status	No	Stored Status	No
Ambiguity Status	yes	Ambiguity Status	yes
GNSS Type	GPS	GNSS Type	GPS/GLONASS
Type	Static	Type	Static
Solution type	Phase: fix all	Solution type	Phase: fix all
Frequency	L1 + L2	Frequency	L1 + L2
X	5143649.5636	X	5143649.5637
Y	-1562619.0144	Y	-1562619.0145
Z	3421069.2120	Z	3421069.2121
Ortho. Hgt.	-	Ortho. Hgt.	-
Geoid Sep.	-	Geoid Sep.	-
Posn. Qlty	0.0001	Posn. Qlty	0.6517
Hgt. Qlty	0.0002	Hgt. Qlty	1.1891
Posn. + Hgt. Qlty	0.0002	Posn. + Hgt. Qlty	1.3559
Ant. Hgt.	0.0000	Ant. Hgt.	0.0000
Sd. X	0.0002	Sd. X	1.0763
Sd. Y	0.0001	Sd. Y	0.5129
Sd. Z	0.0001	Sd. Z	0.6458
M0	0.3822	M0	2245.6425
Q11	0.00000023	Q11	0.00000023
Q12	-0.00000005	Q12	-0.00000005
Q13	0.00000009	Q13	0.00000009
Q22	0.00000005	Q22	0.00000005
Q23	-0.00000002	Q23	-0.00000002
Q33	0.00000008	Q33	0.00000008
GDOP (min)	2.0	GDOP (min)	1.7
GDOP (max)	4.1	GDOP (max)	4.1
PDOP (min)	1.7	PDOP (min)	1.6
PDOP (max)	3.4	PDOP (max)	3.4
HDOP (min)	0.9	HDOP (min)	0.8
HDOP (max)	1.8	HDOP (max)	1.8
VDOP (min)	1.5	VDOP (min)	1.3
VDOP (max)	2.9	VDOP (max)	2.9

Figura 2.9 – Resultados de qualidade no cálculo do ponto Forte de São Tiago.

Apesar da informação disponibilizada pelo *software* indicar uma perda significativa de precisão no cálculo da linha de base, as coordenadas finais calculadas para o vértice geodésico Forte de São Tiago são muito próximas usando o sistema GPS sozinho ou o sistema GPS+GLONASS, demonstrando uma influência relativamente diminuta do sistema GLONASS no cálculo final. A diferença encontrada poderá estar associada a um “bug” interno do *software*, ou ainda ao facto de que aquando da realização dos testes, a constelação GLONASS não estar em pleno funcionamento. Assume-se que, se o sistema GLONASS estivesse em pleno funcionamento os resultados seriam consideravelmente melhores. Assim, perante os resultados obtidos pelo *software* Leica Geo Office verificou-se que, incluindo o GLONASS na solução final em conjunto com o GPS, à data dos testes, não traduzia uma melhoria na solução calculada, não sendo por isso incluído na configuração de base para as campanhas de monitorização.

Não menos importante e de forma a reforçar a decisão final da não utilização do sistema GLONASS nas campanhas a realizar, foi ainda o facto do *software* de processamento de dados GAMIT, *software* científico, não utilizar os dados GLONASS nos seus processamentos.

Pelos resultados obtidos conclui-se que aumentando a cadência de observação (tabela 2.9) e usando diferentes combinação livre da ionosfera ionosféricos e troposféricos, existiriam diferenças de poucos milímetros entre soluções. Se os modelos ionosféricos e troposféricos não forem usados, as soluções obtidas seriam deterioradas, tal como seria esperado (tabelas 2.11 e 2.12).

Usando máscaras de altura dos satélites diferentes, altera consequentemente a solução final obtida para cada combinação bi-horária, no entanto, as diferenças são genericamente constantes, isto é, alterando a máscara de altura dos satélites obtêm-se soluções ligeiramente diferentes, mas quando comparadas entre si são diferenças semelhantes (tabela 2.10).

O uso das órbitas precisas em detrimento das órbitas difundidas não traz melhorias significativas (tabela 2.8) uma vez que a linha de base é muito reduzida, bem como a utilização do sistema GLONASS não traz qualquer benefício para o estudo em causa (tabela 2.13).

Os efeitos da carga oceânica (*ocean loading*) são importantes para melhorar a precisão do posicionamento GNSS (Khan e Scherneck, 2003). Nas zonas costeiras, o efeito da carga oceânica pode ser previsto usando diferentes modelos globais de marés oceânicas e modelos matemáticos (Farrell, 1972). No entanto, para se aumentar a precisão destes

modelos, deve ser considerado, também, um modelo local que abranja a área de estudo. Este modelo local de marés deverá ter uma precisão e resolução espacial superior ao modelo global, de forma a ser efetivamente útil e poder contribuir para uma melhoria na precisão do posicionamento por GNSS (Bos e Baker, 2005). No caso deste trabalho, a avaliação do efeito da carga oceânica não foi efetivamente avaliado, pois seria necessário uma rede de estações permanentes instalada na ilha da Madeira durante um período de tempo longo (por exemplo, um ano). No entanto, assume-se que o efeito da carga oceânica na estação de referência e nas MC é idêntica, pois estão todos situados na mesma linha de costa e a uma distância muito curta (cerca de 800 metros). De qualquer forma, e considerando que o período mais importante deste efeito é o de 12 horas, foram efetuadas observações em períodos diferentes do dia (manhã, tarde e noite) de forma a avaliar se existiriam diferenças. Tal como era esperado, não foram encontradas diferenças significativas, considerando o objetivo deste estudo.

Segundo Meng (2002), a qualidade das posições calculadas são também afetadas pela distribuição dos satélites. Vários erros podem ser propagados no cálculo da posição final devidos à diluição da precisão (Dilution Of Precision - DOP). Em todas as campanhas que foram realizadas no âmbito deste trabalho foram analisados os valores do PDOP (Position Dilution Of Precision) e GDOP (Geometric Dilution Of Precision) apresentados pelo equipamento, com o objetivo de garantir uma boa distribuição de satélites.

#### *Configuração de Observação Adotada*

Depreende-se facilmente que a qualidade do posicionamento GNSS depende muito da qualidade das órbitas dos seus satélites e da qualidade de receção dos sinais emitidos por estes e também, mas principalmente, da forma como estes sinais são processados (Lima *et al.*, 2007). Neste trabalho, procurou-se monitorizar os deslocamentos do quebra-mar com o GNSS, tendo o cuidado de obter a máxima precisão possível e de se manter a mesma estratégia de observação e de processamento em todas as campanhas.

Assim, e perante os resultados obtidos e apresentados anteriormente, a metodologia mais adequada ao tipo de monitorização proposta utilizando o GNSS foram períodos de observação de 2 horas, à cadência de 1 segundo, com uma máscara de elevação de 10°, uso de órbitas precisas, modelo troposférico “Hopfield” (Hopfield, 1969, 1970, 1972),

correção do atraso ionosférico utilizando a combinação linear L1&L2 em recetores de dupla frequência e utilização apenas do sistema GPS.

### *Software de Processamento de Dados GNSS*

São diversos os *software* disponíveis para processamento de dados GNSS. As marcas que comercializam os equipamentos GNSS são as principais distribuidoras do *software* de processamento de dados GNSS. No entanto, existem *software* científico disponível e que pode ser uma alternativa ao *software* comercial. As principais marcas que comercializam os equipamentos GNSS e respetivo *software* são a Leica, a Trimble, a Topcon e a Ashtech, entre outras, e os principais *software* científicos e mais conhecidos são o GAMIT/GLOBK, GIPSY e BERNESE (uns livres e outros não).

O *software* comercializado pelas marcas de equipamentos funcionam como “caixas negras”, uma vez que são programas fechados e com algoritmos confidenciais, direccionados para tipos de processamento de dados mais usuais, limitando a interferência do utilizador no processamento dos dados. Em oposição, o *software* científico permite uma interação mais direccionada para os vários tipos de situações que se pretendem aplicar, permitindo que o utilizador consiga alterar as configurações dos processamentos de acordo com o que pretende, orientando as suas pesquisas de acordo com o seu objetivo, sendo no entanto mais exigentes a nível de conhecimentos científicos e do próprio funcionamento do *software*. Permitem ainda efetuar certo tipos de estudos relacionados com os próprios sistemas GNSS: órbitas de satélites, erros atmosféricos, etc.

Assim, as principais vantagens da utilização do *software* comercial são:

- compatibilidade com o formato dos dados recolhidos pelos recetores da marca;
- tipos de processamentos de dados pré-definidos;
- bastante operacional e muito testado e (quase) sem “bugs”;
- atualizações mais frequentes;
- limitação da interação do utilizador (pode ou não ser uma vantagem);
- pouca exigência de conhecimentos de quem utiliza o *software* – utilização tipo receita transversal a todos os utilizadores comuns.

As principais vantagens da utilização do *software* científico são:

- *software* abertos que permitem direcionar o processamento de dados para o que se pretende;
- utilizados para diversos estudos científicos (ionosféricos, troposféricos, geodinâmica, redes geodésicas, etc.);
- permite a utilização de dados provenientes de várias marcas comerciais a partir da utilização dos dados em formato RINEX (Receiver INdependent Exchange Format);
- relatórios de resultados específicos.

Como o estudo que se pretendia realizar tinha especificidades próprias, foi igualmente colocada em hipótese a utilização de um *software* científico para a obtenção de resultados melhorados.

Os sistemas de monitorização a desenvolver utilizando o GNSS serão aplicados à MEQ e à MAD.

Os sistemas são distintos entre si. Enquanto a MEQ procura quantificar os deslocamentos de cada um dos pontos objeto, a MAD procura determinar a influência que cada uma das atracções e desatrações têm sobre o quebramar.

Para cada um dos sistemas, a metodologia de observação e processamento de dados GNSS é própria e distinta, pois enquanto a MEQ é uma observação de longo período, recorrendo ao posicionamento estático e relativo com o GNSS, a MAD é uma observação de curto período, recorrendo ao posicionamento cinemático relativo com o GNSS com elevada frequência de amostragem.

Assim, à semelhança do que foi realizado e descrito nos pontos anteriores deste capítulo, foi igualmente realizado um estudo com a finalidade de perceber se a utilização de um *software* científico traria melhorias consideráveis aos resultados finais obtidos para cada um dos sistemas de monitorização já referidos.

O *software* científico utilizado para o estudo de viabilidade foi o GAMIT/GLOBK.

O GAMIT/GLOBK para além das vantagens já referidas do *software* científico em relação ao *software* comercial, tem ainda a vantagem de ser um *software* gratuito ao contrário do caso, por exemplo, do BERNESE que é pago. É um *software* em constante *upgrade* devido aos diferentes contributos de todos aqueles que nele interagem.

O GAMIT/GLOBK é um *software* de processamento de dados GPS abrangente, concebido para correr em qualquer sistema operacional UNIX em sistema de múltiplas janelas, desenvolvido pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT), o Harvard-

Smithsonian Center for Astrophysics (CfA), e o Scripps Institution of Oceanography (SIO) para estimar coordenadas e velocidades de estações de referência (CORS), calcular as órbitas dos satélites, determinar os parâmetros de orientação da Terra (EOP), estimar os parâmetros dos atrasos atmosféricos e a determinação das ambiguidades de fase das portadoras, L1 e L2 (Herring *et al.*, 2009).

Enquanto o GAMIT é uma coleção de programas para análise dos dados GPS através do estudo da fase portadora transmitida e da observação das pseudo-distâncias para a estimação de coordenadas tridimensionais de estações e órbitas de satélites, atrasos atmosféricos e parâmetros de orientação terrestres, o GLOBK é um filtro de Kalman que possibilita a combinação de vários tipos de dados geodésicos com o GPS, VLBI e SLR.

Segundo Herring *et al.*, (2009), o GAMIT não é normalmente usado para a obtenção direta das coordenadas finais de estações, mas sim para produzir estimativas e uma matriz de covariância (“*quasi-observations*”) e opcionalmente parâmetros orbitais e de orientação terrestre, que são, em seguida, dados de entrada para *software* como o GLOBK, ou semelhantes, de processamento de séries temporais longas.

O *software* GAMIT/GLOBK tem ainda uma componente própria especificamente direcionada para o cálculo diferencial estático processado em modo cinemático denominada como TRACK e mais focalizada para o tipo de processamento que se pretende desenvolver no tipo de monitorização proposto.

Apesar de ser denominada como uma aplicação para o processamento cinemático, permite igualmente o processamento de dados em modo estático, bastando definir que o ponto a calcular é um ponto fixo e não cinemático. Esta possibilidade é uma mais-valia e de extrema aplicabilidade neste caso de estudo, pelo facto de que de acordo com o sistema de monitorização pode-se programar o processamento de dados de acordo com esse critério.

O TRACK permite obter coordenadas tridimensionais e os correspondentes erros médios quadráticos na unidade de peso de estações a partir de épocas simples e sem necessitar de grandes quantidades de dados, ganhando desse modo um papel fundamental em estudos da monitorização dinâmica (Lu *et al.*, 2012).

O TRACK permite ainda a utilização de ambas as frequências L1 (1575.42 MHz) e L2 (1227.6 MHz) de forma a possibilitar tipos de dados combinados para os cálculos das posições estimadas como sendo a fase L1 e L2, pseudo-distâncias P1 e P2 e atraso ionosférico corrigido LC e PC.

O TRACK, à semelhança do GAMIT e GLOBK, corre a partir de configuração de “*batch*” com configurações mínimas, permitindo consoante o processamento que se pretende aplicar, configurar a linha de comando (*batch*) com os restantes comandos de acordo com o que se pretende e o programa permite. Permite entre outras, a escolha das órbitas precisas ou das órbitas difundidas; a definição da máscara de altura dos satélites; definir a cadência de observação; definir o tipo de linha de base para o processamento como sendo curta, longa, ou do tipo *on the fly* (com frequências de amostragem elevadas e usando algoritmos de resolução rápida das ambiguidades); a estimação de parâmetros para o atraso atmosférico por estação; a escolha dos modelos de variação do centro de fase das antenas; selecionar intervalos de observação e dos satélites observados que se pretende excluir no processamento; definir o tipo de cada estação como sendo fixa ou dinâmica (isto é, ponto referência ou ponto objeto, respetivamente); e ainda a configuração dos relatórios do processamento.

No Anexo E apresenta-se um exemplo do tipo de “*batch*”.

Utilizando a metodologia GNSS definida, foram igualmente processados as observações dos doze intervalos selecionados para as campanhas de teste do Forte de São Tiago e analisados os resultados obtidos segundo a configuração da linha de comandos transcrita a baixo, a título de exemplo.

obs\_file

FUNC FUNC\_<day>.10o F

FORT FORT\_<day>.10o K

nav\_file igs<week>.sp3 sp3

mode short

site\_pos

FUNC 5143339.4234 -1563412.8708 3421191.4378

FORT 5143649.5636 -1562619.0136 3421069.2093

ante\_off

FUNC 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0899 0.0000 0.0000 0.1179

FORT 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0585 0.0000 0.0000 0.0555

bf\_set 2 60

data\_type L1 L2 L1+L2 LC p1 p2 pc

search\_type L1+L2

amb\_cycle 40 3 2000000

pos\_root VARIACOEES\_<day>



```

res_root RESIDUOS_<day>
sum_file SUMARIO_<day>.FORT.sum
wls_root WLS_<day>
rwl_root RWL_<day>
out_type NEU
cut_off 10
interval 1

```

Nas opções apresentadas temos a definição: da estação de referência Funchal como estação fixa; da estação Forte como ponto objeto; das órbitas precisas a utilizar; da linha de base como sendo curta; das coordenadas *a priori* para cada um dos pontos a considerar; do *offset* das antenas; do intervalo máximo e mínimo de dados a considerar para o processamento sem falhas; do tipo de dados a utilizar no processamento; do tipo de dados a utilizar para a resolução das ambiguidades; do tipo de saídas de relatórios; da cadência de observação (segundos); e da máscara de altura de satélites, entre outras.

As figuras 2.10, 2.11 e 2.12 apresentam três das principais saídas que o programa possibilita obter de modo a que seja possível analisar os resultados obtidos com a corresponde informação estatística, após cada processamento das observações.

* YY	MM	DD	HR	MIN	Sec	dNorth (m)	+- (m)	dEast (m)	+- (m)	dHeight (m)	+- (m)	RMS (mm)	# DD	Atm (mm)	+- (mm)	Fract DOY	Epoch	#BF	NotF	Rho-UA
2010	3	8	19	0	0.000	-139.0033	0.0037	848.8907	0.0032	-10.4844	0.0080	10.43	16	0.00	0.00	67.791666667	1	18	0	K 0.000
2010	3	8	19	0	5.000	-139.0018	0.0037	848.8909	0.0032	-10.4854	0.0080	10.02	16	0.00	0.00	67.791724537	2	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	0	10.000	-139.0018	0.0037	848.8923	0.0032	-10.4878	0.0080	13.02	16	0.00	0.00	67.791782407	3	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	0	15.000	-139.0010	0.0037	848.8931	0.0032	-10.4839	0.0080	12.01	16	0.00	0.00	67.791840278	4	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	0	20.000	-139.0002	0.0037	848.8913	0.0032	-10.4857	0.0080	9.03	16	0.00	0.00	67.791898148	5	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	0	25.000	-139.0018	0.0037	848.8899	0.0032	-10.4859	0.0080	10.45	16	0.00	0.00	67.791956019	6	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	0	30.000	-139.0024	0.0037	848.8906	0.0032	-10.4826	0.0080	9.79	16	0.00	0.00	67.792013889	7	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	0	35.000	-139.0016	0.0037	848.8903	0.0032	-10.4854	0.0080	10.37	16	0.00	0.00	67.792071759	8	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	0	40.000	-139.0018	0.0037	848.8913	0.0032	-10.4827	0.0080	9.01	16	0.00	0.00	67.792129630	9	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	0	45.000	-139.0006	0.0037	848.8902	0.0032	-10.4779	0.0080	8.12	16	0.00	0.00	67.792187500	10	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	0	50.000	-139.0016	0.0037	848.8910	0.0032	-10.4772	0.0080	9.41	16	0.00	0.00	67.792245370	11	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	0	55.000	-139.0013	0.0037	848.8901	0.0032	-10.4769	0.0080	8.80	16	0.00	0.00	67.792303241	12	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	1	0.000	-139.0009	0.0037	848.8887	0.0032	-10.4753	0.0080	9.50	16	0.00	0.00	67.792361111	13	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	1	5.000	-139.0023	0.0037	848.8903	0.0032	-10.4814	0.0080	11.67	16	0.00	0.00	67.792418981	14	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	1	10.000	-139.0031	0.0037	848.8889	0.0032	-10.4799	0.0080	8.78	16	0.00	0.00	67.792476852	15	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	1	15.000	-139.0028	0.0037	848.8852	0.0032	-10.4759	0.0080	10.65	16	0.00	0.00	67.792534722	16	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	1	20.000	-139.0021	0.0037	848.8831	0.0032	-10.4861	0.0080	11.35	16	0.00	0.00	67.792592593	17	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	1	25.000	-139.0037	0.0037	848.8836	0.0032	-10.4822	0.0079	10.57	16	0.00	0.00	67.792650463	18	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	1	30.000	-139.0071	0.0037	848.8857	0.0032	-10.4900	0.0079	9.94	16	0.00	0.00	67.792708333	19	18	0	S 0.000
2010	3	8	19	1	35.000	-139.0058	0.0037	848.8845	0.0032	-10.4857	0.0079	9.51	16	0.00	0.00	67.792766204	20	18	0	S 0.000

Figura 2.10 – Épocas de observação da campanha Forte de São Tiago. Cadência de 5s processadas com o *software* TRACK.

Na figura 2.10 são apresentadas as diferentes épocas calculadas para o ponto objeto Forte de São Tiago. Com estes dados pode-se ver as variações encontradas em cada uma das componentes, sendo de fácil interpretação através da análise da figura 2.13.

Para o intervalo de observação selecionado e apresentado na figura 2.13, os desvios padrão em cada uma das componentes X, Y e Z, para a série temporal escolhida são 4 mm, 5.4 mm e 12.6 mm, respetivamente.

```

DAY and WEEK Options 067_19 15741
STRING      Options
SP3c version file
*      32 satellites, at      96 epochs found in igs15741.sp3
*      40 entries had no clock values
Blk Numbers: PRN01 6 PRN02 5 PRN03 3 PRN04 3 PRN05 6 PRN06 3 PRN07 6 PRN08 3
Blk Numbers: PRN09 3 PRN10 3 PRN11 4 PRN12 6 PRN13 4 PRN14 4 PRN15 6 PRN16 4
Blk Numbers: PRN17 6 PRN18 4 PRN19 5 PRN20 4 PRN21 4 PRN22 5 PRN23 5 PRN24 3
Blk Numbers: PRN25 3 PRN26 3 PRN27 3 PRN28 4 PRN29 6 PRN30 3 PRN31 6 PRN32 3
TRACK: Warning Unknown command:      10 8 18 10 10 9.0000 2 2
TRACK: Warning Unknown command:      10 8 18 20 20 25.0000 3 1
Initial site positions and baseline lengths
Sites 1 FUNC      5143339.4234      -1563412.8708      3421191.4378
Sites 2 FORT      5143649.5636      -1562619.0136      3421069.2093
Baseline lengths from FUNC
FORT-FUNC      861.009 m
**WARNING** Interval from RX files is zero, using      5.00 s user interval
Starting epoch count for MJD      55263.79166667 Start seconds      68400.00000042
For site FUNC last epoch found      1440
Found 14 PRNS -> 05 09 10 12 15 18 21 24 27 28 26 17 30 22
Maximum epoch errors: Seen      0.0029 sec, and Used      0.0029 sec
For site FORT last epoch found      1440
Found 14 PRNS -> 05 09 10 12 15 18 21 24 27 28 26 17 30 22
Maximum epoch errors: Seen      0.0029 sec, and Used      0.0029 sec
There are 1 kinematic sites in this analysis;      3 parameters per epoch to be estimated
Creating track.NEU.FORT.LC
There are 1 kinematic sites in this analysis;      3 parameters per epoch to be estimated
SITE      FORT Average XYZ from      1440 epochs      5143649.5414      -1562619.0184      3421069.2014 m

TRACK Residual statistics for Analysis LC
STATISTICS BY PRN for site FORT DataTypes LC
TYPE Site DT ALL 05 09 10 12 15 18 21 22 24 26 27 28 30
PMEAN FORT LC 0.0 -0.6 0.8 -4.9 0.5 -0.8 0.1 -7.6 -6.4 0.2 1.6 0.3 6.6 1.5
RRMS FORT LC 6.6 7.2 3.6 10.5 5.2 3.3 6.1 11.0 9.0 7.7 8.3 2.8 6.5 5.4
PNUM FORT LC 11249 824 1440 267 1167 1440 1440 319 439 562 993 1440 543 375
STATISTICS BY Elevation for site FORT DataTypes LC
TYPE Site DT 00-05 05-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-35 35-40 40-45 45-50 50-55 55-60 60-65 65-70 70-75 75-80 80-85 85-90
PMEAN FORT LC 0.0 0.0 0.0 -3.8 -0.4 1.7 3.3 3.7 1.8 0.2 1.7 0.7 -0.4 -1.2 0.0 0.0 0.0 0.0
ERMS FORT LC 0.0 0.0 0.0 10.1 8.2 6.5 8.1 5.7 4.4 3.2 3.6 3.0 2.8 3.7 0.0 0.0 0.0 0.0
ENUM FORT LC 0 0 0 1690 1551 953 584 587 618 776 516 1022 2383 569 0 0 0 0

```

Figura 2.11 – Coordenadas finais calculadas na campanha Forte de São Tiago.

Processamento com o *software* TRACK.

```

SUMMARY FILE: Track Vers 1.23 Run 2010/09/02 14:05
BATCH FILE: track_FORT.cmd RunDay 067_19 RunWeek 15741
STRING Options

TRACK SETUP PARAMETERS
-----
Batch File      : track_FORT.cmd
SP3 File       : igs15741.sp3
SUMMARY File    : SUMARIO_067_19.FORT_PRECIS_15.sum
Rinex files     : FUNC Type STATIC      FUNC_067_19.10o
Rinex files     : FORT Type KINEMATIC   FORT_067_19.10o
SEARCH TYPE     : L1+L2
EPOCH TYPE      : L1+L2 Start Iter 1 Sample 1 Limits 0.25 0.50 WL/LG SCALES 1.00 1.00 MAX Fit 25.0
DATA ANALYSIS TYPES : L1
DATA ANALYSIS TYPES : L2
DATA ANALYSIS TYPES : L1+L2
DATA ANALYSIS TYPES : LC
Data Noise L1,L2,P1,P2 GENERIC: 0.0020 0.0020 1.00 1.00 m, Weight 0.50
Position output sigma limit : 1.000 m.
Elevation angle cutoff : 15.000 deg.
MT Mapping function and seasonal model used
Process noise time unit: per sqrt(epoch)
SITE STOCHASTIC PROPERTIES
SITE Type Approx XYZ (m) XYZ Process noise (m/Re) Atm State (m,m/Re) Hgt m/(m/s)
FUNC F 0.000 0.0000 0.0000
FORT K 4.472 4.472 4.472 4.472 4.472 4.472 0.000 0.00000 0.00000
SITE ARP N ARP E APR U (m) dL1 N dL1 E dL1 U dL2 N dL2 E dL2 U Antenna PCV #E1 #E2
FUNC 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0899 0.0000 0.0000 0.1179 NONE 0 0
FORT 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0585 0.0000 0.0000 0.0555 NONE 0 0
TRACK Residual statistics for Analysis L1+L2
STATISTICS BY PRN for site FORT DataTypes L1+L2
TYPE Site DT ALL 05 09 10 12 15 18 21 22 24 26 27 28 30
PMEAN FORT L1 0.0 0.3 2.0 -2.7 0.2 1.1 -1.3 -10.4 -5.5 -3.4 -0.9 1.4 7.6 -0.3
PMEAN FORT L2 0.0 -1.8 1.0 -3.6 -0.3 -3.4 0.8 -3.1 1.2 1.1 1.7 -0.7 5.5 3.4
RRMS FORT L1 4.6 4.3 2.8 5.3 3.0 2.4 3.7 5.1 3.8 4.5 4.0 1.9 4.4 3.7
RRMS FORT L2 4.7 4.6 3.2 8.3 2.8 2.6 5.0 6.1 5.9 5.0 4.3 1.9 5.6 3.1
PNUM FORT L1 11249 824 1440 267 1167 1440 1440 319 439 562 993 1440 543 375
PNUM FORT L2 11249 824 1440 267 1167 1440 1440 319 439 562 993 1440 543 375
STATISTICS BY Elevation for site FORT DataTypes L1+L2
TYPE Site DT 00-05 05-10 10-15 15-20 20-25 25-30 30-35 35-40 40-45 45-50 50-55 55-60 60-65 65-70 70-75 75-80 80-85 85-90
PMEAN FORT L1 0.0 0.0 0.0 -3.9 -0.7 -0.1 -0.3 1.4 1.2 0.2 2.9 2.3 0.9 0.5 0.0 0.0 0.0 0.0
PMEAN FORT L2 0.0 0.0 0.0 0.8 2.2 0.4 -1.4 0.0 0.5 0.9 1.0 0.1 -1.4 -4.4 0.0 0.0 0.0 0.0
ERMS FORT L1 0.0 0.0 0.0 6.8 5.5 5.3 3.9 2.8 2.7 2.6 2.9 2.4 1.9 2.7 0.0 0.0 0.0 0.0
ERMS FORT L2 0.0 0.0 0.0 7.0 6.3 4.2 3.6 2.9 2.4 3.0 3.7 3.2 2.1 2.9 0.0 0.0 0.0 0.0
ENUM FORT L1 0 0 0 1690 1551 953 584 587 618 776 516 1022 2383 569 0 0 0 0
ENUM FORT L2 0 0 0 1690 1551 953 584 587 618 776 516 1022 2383 569 0 0 0 0

Position Estimates and Adjustments at epoch
SITE X (m) dX +- Y (m) dY +- Z (m) dZ +- Lat (deg) dLat +- Long (deg) dLong +- Height (m) dH +-
FUNC 5143339.4234 0.0000 0.0000 -1563412.8708 0.0000 0.0000 3421191.4378 0.0000 0.0000 32.647946051 0.0000 0.0000 243.092383284 0.0000 0.0000 78.4941 0.0000 0.0000
FORT 5143649.5637 0.0001 0.0447 -1562619.0313 -0.0177 0.0276 3421069.2124 0.0021 0.0311 32.646697339 -0.0002 0.0141 243.101439968 -0.0169 0.0179 68.0710 0.0061 0.0566

```

Figura 2.12 – Sumário do processamento de dados com o *software* TRACK.

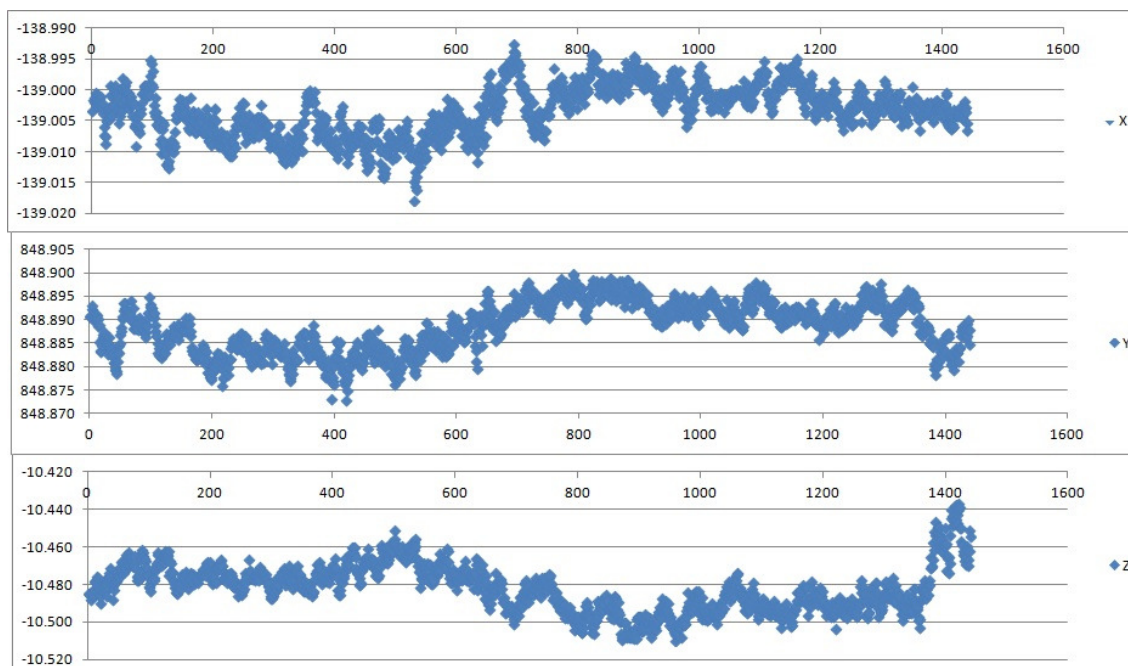


Figura 2.13 – Variações segundo a componente X, Y e Z processadas com o *software* TRACK para um dos intervalos de observação considerados.

A tabela 2.14 apresenta os resultados para cada um dos doze intervalos selecionados calculados com o *software* TRACK. As coordenadas foram convertidas da realização do ITRF93 para o sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE.

A média final calculada para o bloco das doze observações usando o *software* TRACK para o ponto Forte de São Tiago são os apresentados na tabela 2.15 também no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE.

Intervalo	E(m)	N(m)	h(m)
1	322294.9306	3613359.9530	18.5961
2	322294.9338	3613359.9527	18.5888
3	322294.9352	3613359.9556	18.5791
4	322294.9340	3613359.9605	18.5732
5	322294.9349	3613359.9559	18.5860
6	322294.9334	3613359.9478	18.5852
7	322294.9166	3613359.9403	18.5906
8	322294.9336	3613359.9572	18.5705
9	322294.9353	3613359.9556	18.5993
10	322294.9428	3613359.9625	18.5791
11	322294.9327	3613359.9565	18.5846
12	322294.9313	3613359.9541	18.5773

Tabela 2.14 – Solução dos intervalos para o Forte de São Tiago usando o *software* TRACK.

Software	E(m)	N(m)	h(m)
TRACK	322294.9329	3613359.9543	18.5842

Tabela 2.15 – Solução final para o Forte de São Tiago usando o *software* TRACK.

Pela análise dos desvios padrão obtidos pelos dois *software* de processamento de dados, o Leica Geo Office e o TRACK apresentados na tabela 2.16, o *software* Leica Geo Office foi o escolhido para ser utilizado no processamento de dados GNSS da MEQ.

Software	DesvP E (m)	DesvP N (m)	DesvP h (m)
LEICA	0.0021	0.0013	0.0018
TRACK	0.0059	0.0058	0.0088

Tabela 2.16 – Resumo do processamento de dados dos *softwares* LEICA Geo Office e TRACK. Desvio padrão.

À partida com um *software* científico devia-se obter melhores resultados (melhor precisão) do que com um *software* comercial. No entanto, a grande diferença entre um *software* comercial e um científico verifica-se para linhas de base longas (acima de 20 km). É também importante referir que o processamento com o TRACK considerou a combinação livre da ionosfera L1&L2, enquanto o Leica Geo Office usa a solução (L1 ou a combinação livre da ionosfera L1&L2) que apresenta um melhor resultado, o que poderá justificar os resultados obtidos e apresentados na tabela 2.16. Uma vez que o *software* científico GAMIT-TRACK, não trás vantagens neste caso particular, o *software* comercial foi o escolhido para a MEQ.

Contudo para a MAD, foi utilizado o *software* GAMIT-TRACK pela saída de resultados que gera, bem como pela impossibilidade apresentada pela versão do *software* Leica Geo Office disponível não incluir o *package* para o processamento cinemático.

### 2.2.1.2 Redes de Monitorização, Marcas Físicas, Localização, Construção e Materialização

Foram realizadas várias visitas e inspeções visuais ao quebramar do porto do Funchal em conjunto com técnicos responsáveis pelo porto com o intuito de tomar conhecimento do estado da infraestrutura e os seus pontos mais sensíveis, procurando estabelecer a



rede de monitorização focada nessas zonas e que requeriam maior atenção. Como se pode observar nas figuras 2.14 e 2.15, são diversas as alterações identificadas (efeitos visuais de processos de deterioração), nomeadamente deslocamentos tangenciais verticais nas juntas entre extensões do muro de coroamento da superestrutura, bem como fendas e fissuras nesse muro.



Figura 2.14 – Elevações (deslocamentos diferenciais) entre extensões do muro de coroamento, na crista do quebramar.



Figura 2.15 – Fissuras no muro de coroamento do quebramar.

A rede foi constituída sobre as zonas que requeriam mais atenção de modo a estabelecer a rede de monitorização direccionadas para o tipo de informação que se pretendia recolher.

#### Monitorização da Estabilidade do Quebramar - MEQ

Para a constituição da rede pertencente à MEQ foram considerados diversos pontos críticos sobre o muro de coroamento na crista da superestrutura.

De acordo com essa identificação e de acordo com a finalidade e otimização da monitorização a realizar, criou-se uma rede de monitorização constituída por 12 pontos objeto distribuídos ao longo de 375 metros na crista da superestrutura do quebramar, como se pode verificar pelo ilustrado na figura 2.16. Para identificação e distinção entre eles foram numerados sequencialmente e denominados de Marcas de Controlo (MC).



Figura 2.16 – Pontos da rede da MEQ.

A área mais crítica e, conseqüentemente mais necessitada de ser observada localiza-se nos 60 metros finais do quebramar na denominada “cabeça do quebramar”, onde foram materializados 9 dos 12 pontos objeto.

#### Monitorização do Quebramar durante a Atracação e Desatracação de Navios de Cruzeiro - MAD

Para a MAD foi definida uma rede composta por três pontos objeto MC09, MC10 e MC11 da mesma rede constituída para a MEQ constituindo-se uma sub-rede da anterior



(figura 2.16). A figura 2.17 apresenta um dos pontos objeto pertencente à rede definida para a MAD, o MC09.



Figura 2.17 – Ponto objeto pertencente à rede da MAD (MC09).

#### *Marcas Físicas e sua Materialização*

A materialização dos pontos objeto foi realizada através de peças em aço inox de 2kg de peso e centragem forçada com rosca de 5/8” tipo placa base geodésica. Foram embutidas na crista da superestrutura do quebramar através de buchas metálicas (figuras 2.18 e 2.19).

A escolha de tipo de peça foi feita considerando que é necessário garantir a estabilidade e consistência da localização de cada ponto objeto em relação ao bloco do quebramar, aliado ao facto de ser possível com este tipo de montagem (centragem forçada) garantir que o ponto a ser monitorizado é sempre o mesmo e não sofre variações na montagem da antena GNSS entre épocas de observação.



Figura 2.18 – Marcas de centragem forçada embutidas na crista da superestrutura do quebramar.



Figura 2.19 – Marcas de centragem forçada e bucha metálica assente sobre a superestrutura do quebramar.

### **2.2.2 Medição de Vibrações**

A medição de vibrações em estruturas de engenharia civil é frequentemente utilizada com o objetivo de caracterizar eventuais processos de deterioração (associados a efeitos



do tempo ou a ações excepcionais como por exemplo, numa situação de agitação marítima extrema). A ideia de base desta metodologia está ilustrada na figura 2.20, em que se mostra esquematicamente que um copo intacto vibra de forma diferente de um copo fissurado. Da mesma forma, as estruturas de engenharia civil vibram de forma diferente após sofrerem processos de deterioração. Estas alterações da resposta dinâmica medida (vibrações) podem ser quantificadas através da análise espectral das vibrações medidas (usualmente séries temporais de acelerações): as frequências dos principais picos espectrais correspondem a frequências naturais de vibração das estruturas as quais se alteram quando as estruturas se deterioram (referência). Em geral é possível identificar as frequências e as configurações dos principais modos de vibração das estruturas.

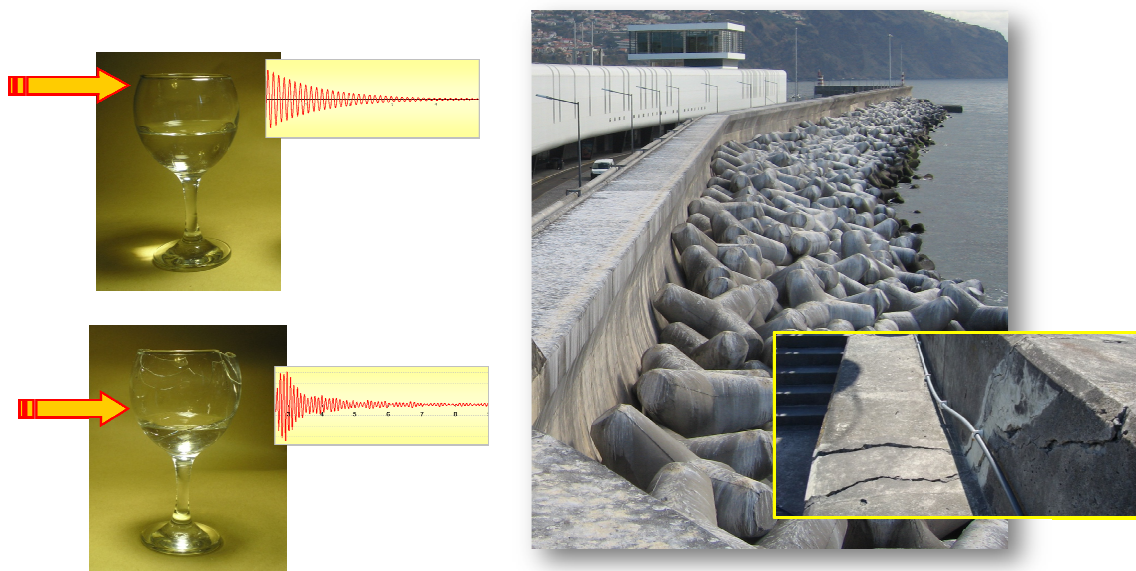


Figura 2.20 - Monitorização do comportamento dinâmico. Controlo do estado de deterioração das obras.

No caso do quebramar é de esperar que alterações ao nível da fundação, devidas, por exemplo, a infraescavações e alterações ao nível da superestrutura associadas aos processos de fissuração possam afetar a resposta dinâmica da superestrutura o que corresponde a afetar as frequências naturais e as configurações dos modos identificados. No caso de quebramares as ações associadas à agitação marítima e aos processos de atracação e desatracação dos navios podem induzir alterações ao nível da fundação e ao nível da superestrutura.

Neste caso, para o quebramar do porto do Funchal foram efetuados ensaios de medição de vibrações em que se utilizaram três acelerómetros (dois na direção vertical e um na direção horizontal, e configuração invertida) colocados numa secção da superestrutura do quebramar ao nível da crista. Como se descreve no capítulo 3, foram realizadas duas campanhas de ensaios que envolveram a medição da resposta dinâmica sob excitação ambiente (agitação marítima) e sob excitação associada ao processo de atracação e desatracação de navios de cruzeiro.

### 2.2.3 Inspeções Visuais

O quebramar do porto do Funchal tem evidenciado, ao longo dos últimos anos, algumas fragilidades, principalmente na sua parte mais extrema (cabeça), decorrentes das condições adversas a que se encontra exposto, resultantes dos efeitos da exposição a condições atlânticas típicas e da atracação e desatracação de navios de cruzeiro, cuja tonelagem e dimensão são cada vez maiores. Com o objetivo de tomar conhecimento do estado da infraestrutura e identificar os seus pontos mais sensíveis, foram realizadas várias inspeções visuais através de visitas e vistorias ao quebramar do porto do Funchal em conjunto com técnicos responsáveis pelo porto, sendo estas registadas fotograficamente.

Como se pode observar na figura 2.21, foram identificadas diversas fissuras com uma magnitude da ordem dos cm (máximo 12 cm) e deslocamentos verticais dos blocos da superestrutura da mesma ordem de grandeza (máximo 10 cm).



Figura 2.21 – Fotografias exemplificativas das fissuras, fendas e deslocamentos verticais.

Em todas as campanhas realizadas *in situ* foram tiradas fotografias das zonas identificadas como sendo as que evidenciavam maiores alterações (nomeadamente fissuras). Este registo foi também importante para acompanhar a evolução das mesmas.

#### 2.2.4 Comparação com os Resultados de Modelos Físicos e Numéricos

O controlo da segurança de infraestruturas baseia-se na comparação de resultados observados (provenientes dos sistema de monitorização) com resultados de modelos: modelos físicos e modelos numéricos. É com base nos resultados que se obtêm com estes dois tipos de modelos que é possível: i) compreender o comportamento observado; e ii) prever o comportamento futuro para diferentes cenários correntes ou para condições extremas. Quando são detetadas discrepâncias entre o comportamento observado e o comportamento previsto com base em modelos, há que tomar medidas no sentido de averiguar quais as causas para tais discrepâncias e, quando necessário propor ações de manutenção/reabilitação das estruturas numa perspetiva de prevenção de acidentes/incidentes, o que é fundamental para uma boa gestão das infraestruturas portuárias (figura 2.22).

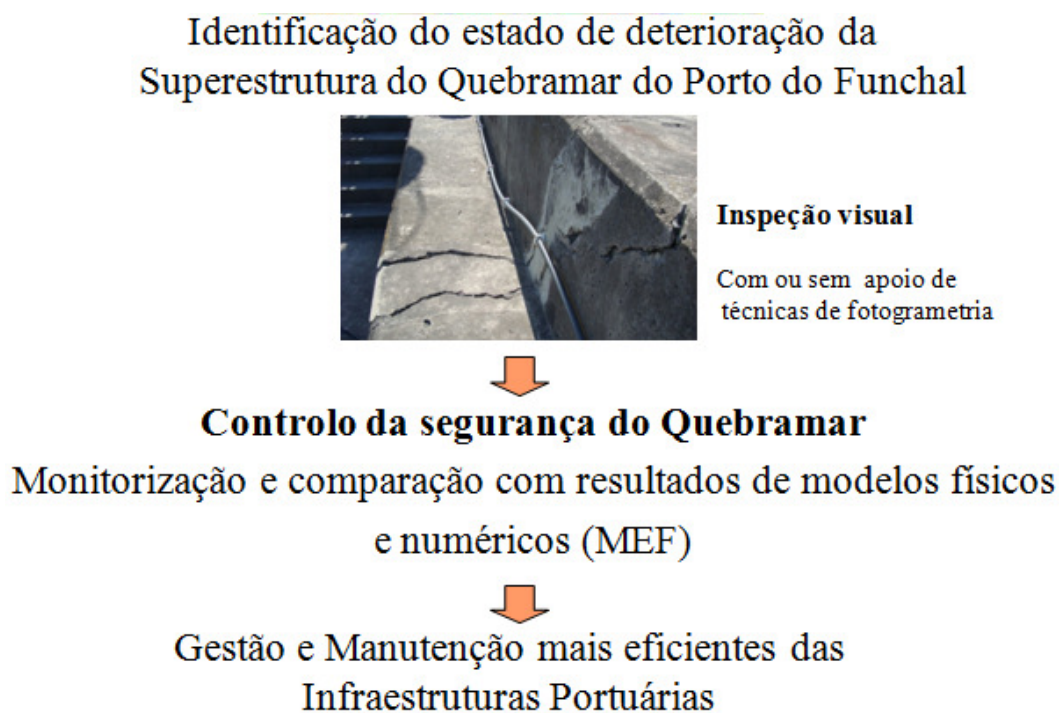


Figura 2.22 – Metodologia de controlo da segurança com vista a melhorar a eficiência da gestão e manutenção de infraestruturas portuárias.

## 2.3 Definição de Metodologia para a Estação Total

A medição de deslocamentos dos tetrápodes requer uma metodologia de monitorização específica pela dificuldade de acesso e impossibilidade de implementação de um sistema de reflexão em permanente (prisma refletor) e estável para uso do GNSS (centragem forçada). Torna-se necessário considerar essas particularidades na metodologia de monitorização a implementar.

### 2.3.1 Metodologia de Medição de Deslocamentos através de Topografia Clássica

A metodologia subjacente às campanhas de observação através do uso da estação total aplicando as técnicas da topografia clássica requerem a medição de ângulos e distâncias. A utilização de técnicas clássicas de topografia através de estação total foram utilizadas somente na MMT. De acordo com as especificidades da MMT, foi necessário definir uma metodologia adequada de observação e recolha de dados.

Uma vez que os pontos objeto (tetrápodes) são de acesso difícil e restrito (figura 2.23), tornou-se necessário definir alvos de pontaria para a observação com a estação total onde não fosse necessário a colocação de vários prismas refletores em cada um dos tetrápodes a monitorizar.



Figura 2.23 – Vista geral do manto de tetrápodes.

Assim, a metodologia de monitorização a aplicar à MMT teria obrigatoriamente que ser baseada somente na medição de ângulos.

Por essa razão, foi necessário que os pontos estação e cada um dos pontos materializados sobre os tetrápodes pertencentes à rede de monitorização tivessem linha de visada topográfica desimpedida.

A obtenção das coordenadas para cada um dos pontos objeto sobre os tetrápodes é feita separadamente segundo a componente planimétrica e segundo a componente altimétrica.

Os ângulos horizontais,  $\alpha$  e  $\beta$  (figura 2.24), são usados para o cálculo das coordenadas planimétricas de cada um dos pontos a monitorizar, enquanto o ângulo zenital é usado para o cálculo da coordenada altimétrica (figura 2.25).

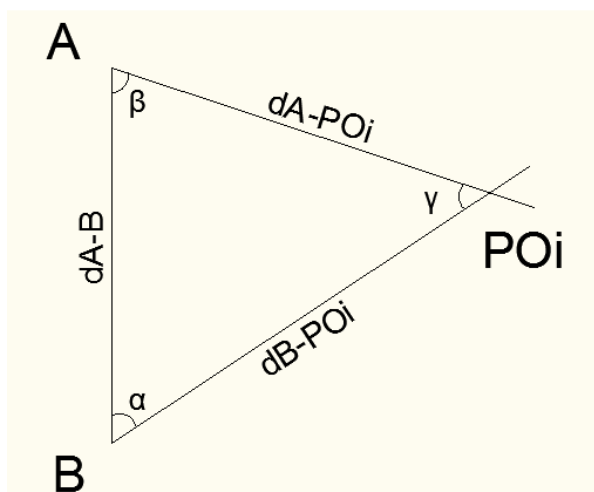


Figura 2.24 – Cálculo das coordenadas planimétricas para cada um dos pontos objeto (PO) sobre os tetrápodes. Vista de topo. Os pontos A e B são pontos estacionados pela estação total.

Pela figura 2.24, pode-se verificar que a intersecção entre a linha de visada das estações A e B de coordenadas  $(E, N)_A$  e  $(E, N)_B$  e o ponto objeto (POi) sobre o tetrápode de coordenadas  $(E, N)_{POi}$ , indica o ângulo entre o tetrápode e cada uma dessas estações, identificado pelo ângulo  $\gamma$ . Medindo os ângulos  $\alpha$  e  $\beta$  e conhecendo as coordenadas das estações A e B, obtêm-se as coordenadas planimétricas dos tetrápodes, através das equações apresentadas.



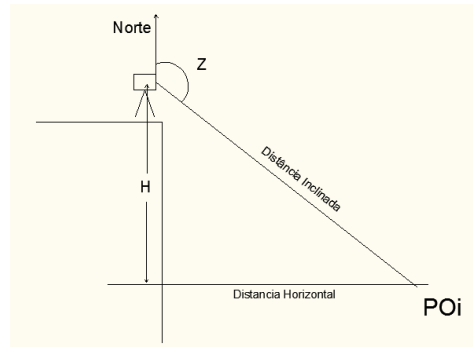


Figura 2.25 – Cálculo da coordenada altimétrica para cada um dos pontos objeto (PO) sobre os tetrapodes. Vista de perfil.

$$\gamma = 200^g - (\alpha + \beta) \quad (2.7)$$

$$\frac{\sin \alpha}{d_{A \rightarrow PC_i}} = \frac{\sin \beta}{d_{B \rightarrow PC_i}} = \frac{\sin \gamma}{d_{A \rightarrow B}} \quad (2.8)$$

$$\Rightarrow d_{B \rightarrow PC_i} = d_{A \rightarrow B} \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} \quad (2.9)$$

$$\Rightarrow d_{A \rightarrow PC_i} = d_{A \rightarrow B} \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} \quad (2.10)$$

Pelas coordenadas das estações é possível calcular a distância (equação 2.11) e os respectivos rumos (equação 2.12) entre ambas as estações.

$$d_{A \rightarrow B} = \sqrt{(E_A - E_B)^2 + (N_A - N_B)^2} \quad (2.11)$$

$$Rumo_{A \rightarrow B} = \arctan \frac{\Delta E}{\Delta N}, \Delta E = E_B - E_A \text{ and } \Delta N = N_B - N_A \quad (2.12)$$

Logo,

$$Rumo_{A \rightarrow PC_i} = Rumo_{A \rightarrow B} - \beta \quad (2.13)$$

$$Rumo_{B \rightarrow PC_i} = Rumo_{B \rightarrow A} + \alpha \quad (2.14)$$

Assim, as coordenadas planimétricas dos tetrapodes são calculadas através das equações 2.15 e 2.16.

$$E_{PC_i} = E_A + d_{A \rightarrow PC_i} * \sin(Rumo_{A \rightarrow PC_i}) \quad (2.15)$$

$$N_{PC_i} = N_A + d_{A \rightarrow PC_i} * \cos(Rumo_{A \rightarrow PC_i}) \quad (2.16)$$

Para o cálculo da componente altimétrica do POi, verifica-se pela figura 2.25 que é necessário saber a altura de cada uma das estações ( $Eh$ ). Essa medida é feita após o estacionamento e nivelamento do tripé base à estação total. Seguidamente, para calcular a diferença de altitude entre o ponto de estação e o tetrápode são utilizadas as relações transpostas pelas equações 2.17 e 2.18.

$$H_{PC_i} = H_{Estação} + \Delta h \quad (2.17)$$

$$\Delta h = Eh - H \quad (2.18)$$

O valor obtido para H é um valor sempre superior ao valor de  $Eh$  pelo facto dos pontos objeto dos tetrápodes estarem sempre a uma cota inferior aos pontos de estação situados sobre a crista do quebramar, implicando que os ângulos zenitais medidos são sempre superiores a 100 grados. Por isso, o valor do  $\Delta h$  obtido pela diferença entre H e o  $Eh$ , resultou sempre num valor negativo. Posteriormente, ao ser somando ao valor da estação de observação obtém-se o valor da componente altimétrica para o POi monitorizado. Substituindo o valor de H pela relação trigonométrica obtida pelas seguintes relações:

$$Distância\ Inclinação * \cos (200^g - \hat{Ângulo\ Zenital}) = H \quad (2.19)$$

$$Distância\ Inclinação * \sin (200^g - \hat{Ângulo\ Zenital}) = DH \quad (2.20)$$

Temos que,

$$H = DH * \cotg (200^g - \hat{Ângulo\ Zenital}) \quad (2.21)$$

logo,

$$\Delta h = Eh + \frac{\text{Distancia Horizontal}}{\tan (200^g - \text{\AA ngulo Zenital})} \quad (2.22)$$

Pela conjugação das equações descritas anteriormente obteve-se o valor das componentes planimétricas e altimétricas para cada um dos POi.

Para finalizar o método de recolha de dados referente ao MMT, analisou-se se existiria ou não vantagens na utilização de visadas diretas e inversas. Verificou-se que a diferença entre a utilização das medidas diretas e as medidas diretas e inversas traduziam-se numa diferença final de 5mm em planimetria e 15mm em altimetria. Como as diferenças encontradas pela utilização de visadas diretas e inversas são muito inferiores ao valor dos deslocamentos que se procuravam encontrar, aliado ao facto de ser necessário despende um período de tempo superior em cada campanha de observação, optou-se pela realização das observações somente pela leitura de medidas diretas.

Na figura 2.26 são apresentados os valores calculados para o PO10. A branco, são apresentados os valores necessários introduzir com os dados de observação recolhidos nas campanhas de monitorização, bem como a informação dos pontos de estação utilizados, sendo todos os restantes valores preenchidos automaticamente pela programação interna de cada uma das células.

TET	Estação	E(m)	N(m)	h(m)	Ângulo Horizontal (αi) (grados)	Distância Horizontal (m)	Rumo (Est->Ponto) (grados)	Altura do Aparelho (m)	Ângulo Zenital (grados)
10	A01	321193.9622	3612825.7554	8.8023	17.8113	26.124	283.3608	1.517	114.6345
	M12	321161.8610	3612826.3465	8.7717	50.9654	10.051	152.1375	1.504	134.628
				Ei	Ni	hi	E(m)	N(m)	h(m)
10	A01	321168.725	3612819.005	4.206			321168.725	3612819.005	4.201
	M12	321168.725	3612819.005	4.197					

Figura 2.26 – Coordenadas do tetrápode 10 (PO10).

### 2.3.2 Inspeções Visuais

Para a rede constituinte da MMT foram realizadas várias visitas e vistorias ao quebramar do porto do Funchal em conjunto com técnicos responsáveis pelo porto do Funchal, registando-se fotograficamente cada uma das visitas. Como se pode observar na figura 2.27, a distribuição e quantidade de tetrápodes não é a mais adequada, estando genericamente com uma linha de elevação baixa e em pouca quantidade.





Figura 2.27 – Distribuição e quantidade de tetrapodes.

Em todas as campanhas realizadas *in situ* foram tiradas fotografias dos tetrapodes na sua generalidade, procurando ilustrar algumas variações entre épocas de monitorização.

### 2.3.3 Redes de Monitorização, Marcas Físicas, Localização, Construção e Materialização

Para a MMT foi necessário proceder à demarcação dos tetrapodes recorrendo a tinta própria de cor vermelha, que fosse visível a longas distâncias e resistente às condições ambientais envolventes. A rede de monitorização foi composta por 55 pontos objeto subdivididos por 3 zonas de impacto da agitação distintas, compreendidas entre os pontos MC8 e MC12 (figura 2.16) utilizados para a MEQ. A figura 2.28 mostra os 3 grupos de tetrapodes demarcados.



Figura 2.28 – Tetrapodes subdivididos em 3 grupos.

Pertencem igualmente à rede utilizada para este sistema de monitorização as marcas MC09, MC10, MC11 e MC12 pertencentes à rede utilizada na MEQ. Também

pertencem à rede estabelecida as marcas auxiliares necessárias para garantir a linha de visada entre todos os pontos utilizadas como pontos coordenados para o estacionamento da estação total e os pontos objeto.

#### **2.3.4 Comparação com Modelo Físico**

O controlo da segurança de estruturas baseia-se fundamentalmente na comparação de resultados observados provenientes do sistema de monitorização com os resultados de modelos físicos. É com base nos resultados que se obtêm com o modelo físico que é possível, por comparação com os resultados obtidos nas campanhas da MMT, verificar se as condições existentes são as mais adequadas. A simulação de diferentes cenários permite transpor para a realidade os resultados obtidos.

Quando são detetadas discrepâncias entre o comportamento observado e o comportamento previsto com base em modelo há que tomar medidas no sentido de averiguar quais as causas para tais discrepâncias e, quando necessário, propor ações de manutenção/reabilitação das estruturas numa perspetiva de prevenção de acidentes/incidentes, aspecto fundamental para uma boa gestão das infraestruturas portuárias.

#### **2.4 Sistema de Coordenadas Local**

Para tornar mais clara e objetiva a análise dos resultados obtidos para todos os sistemas de monitorização, é necessário adotar um sistema de coordenadas local adequado ao objeto de estudo: o quebramar. Essa necessidade torna-se ainda mais evidente quando se representam graficamente os deslocamentos, em planta ou em cortes verticais, sobre o quebramar.

O sistema de coordenadas local mais adequado à representação gráfica dos deslocamentos a adotar será então aquele em que o eixo coordenado  $x$  seria coincidente com eixo longitudinal do quebramar, o eixo da componente  $y$  perpendicular ao eixo  $x$ , ambos no plano horizontal, e o eixo da componente  $z$  ortogonal aos eixos  $xy$  e sentido de modo a tornar o sistema positivo, portanto, segundo a vertical do lugar.

Assim, este sistema de coordenadas local referido ao quebramar, permite que todos os deslocamentos estimados nas campanhas de monitorização estrutural para cada um dos pontos objeto de cada um dos sistemas de monitorização sejam automaticamente interpretados e quantificados relativamente ao quebramar.

Para definir o eixo coordenado dos x no sistema de coordenadas local, foi necessário realizar uma campanha de observação de cinco pontos limite sobre a crista do quebramar na direção paralela e na direção perpendicular (figura 2.29).



Figura 2.29 – Localização dos pontos limite sobre o muro de coroamento (crista) do quebramar.

Pela figura 2.30, pode-se verificar que a orientação da parte final do quebramar, sobre a qual foram realizados os estudos, é praticamente coincidente com a direção Oeste-Este, a mesma do eixo coordenado E (Esting) do sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE.

Foram recolhidas os cinco pares de coordenadas através de estação total sobre a crista do superestrutura do quebramar (tabela 2.17). A componente z foi definida segundo a vertical do lugar, coincidente com a componente vertical do sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE, mantendo-se inalterada no novo sistema de coordenadas local.

Os eixos do sistema de coordenadas local foram escolhidos de modo a que um deles fosse coincidente com a linha ao longo do paramento longitudinal do quebramar e o outro perpendicular a este.



Figura 2.30 – Ortofotomapa da baía da cidade do Funchal.

Ponto	Sistema UTM Datum Base SE		Sistema Local	
	$E (m)$	$N (m)$	$X (m)$	$Y (m)$
1	321310.3069	3612822.9991	-195.3821	0
2	321355.4672	3612822.1643	-150.2141	0
3	321381.0649	3612821.7007	-124.6122	0
4	321488.3824	3612819.7157	-17.2763	0
5	321506.4112	3612851.8368	0	32.4541

Tabela 2.17 – Coordenadas dos pontos limite sobre o muro de coroamento do quebramar em ambos sistemas.

Como se pode verificar pelas coordenadas apresentadas na tabela 2.17, a componente N (Norting) dos pontos 1, 2, 3 e 4 são idênticas no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE, apresentando diferenças de cerca de 2 metros para uma distância horizontal de aproximadamente de 175 metros. Pela figura 2.31 pode-se comprovar visualmente a diferença entre os sistemas de coordenadas local e o sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE representados pelas linhas a roxo e a verde, respetivamente.





Figura 2.31 – Diferença entre os eixos.

A linha apresentada a roxo na figura 2.31 representa a linha ao longo do paramento exterior do muro do coroamento do quebra-mar obtida pelas coordenadas recolhidas na campanha de campo, representativa do eixo coordenado x do sistema de coordenadas local, e a linha a verde representa a linha perpendicular ao Norte desenhada com início no vértice de ligação entre os dois eixos e representativa do eixo coordenado E (Easting) do sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE. A diferença angular entre as duas linhas é inferior a 1°. No entanto, e uma vez que dispomos de coordenadas em ambos os sistemas de coordenadas, para converter entre o sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE e o sistema de coordenadas local, aplicou-se uma transformação afim a duas dimensões.

A transformação afim traduz-se pelo cálculo dos parâmetros segundo as equações 2.23 e 2.24,

$$X = a0 + a1x' + a2y' \quad (2.23)$$

$$Y = b0 + b1x' + b2y' \quad (2.24)$$

onde, a0, a1, a2, b0, b1 e b2 são os parâmetros de conversão; x' e y' são as coordenadas no sistema de coordenadas de origem; e X e Y são as coordenadas no sistema de coordenadas alvo.

Utilizando os pontos apresentados na tabela 2.17 calculam-se os parâmetros apresentados na tabela 2.18.

O erro médio quadrático associado à transformação é de 0.006 m com um grau de confiança de 95%.

a0	-237312.439269992
a1	0.99974088722602
a2	-0.0232809617727602
b0	-3618970.243889
b1	0.0184365796649852
b2	1.00006183001009

Tabela 2.18 – Parâmetros da transformação afim entre os dois sistemas.

A transformação afim serviu para converter o sistema UTM Fuso 28 Datum Base SE num sistema local com os eixos coordenados de acordo com os eixos apresentados na figura 2.31. A origem do sistema é o extremo inferior Este do quebramar, identificado na figura 2.31. Aplicou-se uma transformação afim somente a 2 dimensões, pois a componente altimétrica foi mantida inalterada, como já foi referido anteriormente.

Por fim, foi aplicada uma translação final para converter este sistema local no sistema local final pretendido, de modo a que todos pontos pertencentes a todos os sistemas de monitorização tivessem coordenadas positivas em todos os eixos. Na figura 2.32 está caracterizada a origem do sistema local final.



Figura 2.32 – Sistema de coordenadas local final.

A translação aplicada ao sistema de coordenadas local para tornar todas as coordenadas positivas nos três eixos coordenados do sistema de coordenadas local foi de 360 metros na componente transversal e 20 metros na componente perpendicular ao quebramar.

Posteriormente, aplicou-se o método anteriormente descrito convertendo-se todas as coordenadas obtidas em cada uma das épocas iniciais para cada um dos sistemas de monitorização para o novo sistema de coordenadas local.

## **2.5 Considerações Finais**

Neste capítulo foi abordada a campanha de teste GNSS desenvolvida com o intuito de verificar quais as condicionantes e potencialidades do sistema a implementar através da descrição das técnicas de observação e recolha de dados, conversão e tratamento dos ficheiros de observação e equipamentos utilizados, de modo a verificar qual a configuração mais adequada ao tipo de estudo que se pretendia desenvolver, propondo-se a utilização apenas do sistema de posicionamento por satélite GPS em alternativa à utilização conjunta dos sistemas de posicionamento por satélite GPS e GLONASS para a MEQ e MAD, uma vez que os resultados obtidos por estes últimos não apresentam melhorias do que os obtidos só pelo GPS. Foi definida a metodologia para a medição de vibrações para a deteção de alterações estruturais. Foi definida a metodologia de recolha de dados referente à MMT através de estação total medindo-se ângulos horizontais e ângulos verticais. Foram igualmente definidas as diferentes redes de monitorização pelas vistorias realizadas identificando-se as zonas mais sensíveis sobre a crista do quebramar e tetrápodes e a sua correspondente materialização física através de marcas físicas próprias e tinta adequada. Foram utilizados os *software* de processamento de dados GNSS Leica Geo Office e GAMIT TRACK nos processamentos de dados GNSS recolhidos de modo a definir a sua utilização em cada um dos sistemas de monitorização, propondo-se o uso do *software* Leica Geo Office na MEQ e o *software* GAMIT TRACK para a MAD. Por fim, foi definido o sistema de coordenadas local para a monitorização do quebramar do porto do Funchal.





## Capítulo 3

### Campanhas de Monitorização Estrutural

#### 3.1 Considerações Iniciais

As campanhas de monitorização estrutural foram realizadas no quebramar do porto do Funchal, e tiveram como principal objetivo avaliar as condições de estabilidade e evolução do estado de deterioração do quebramar do porto do Funchal, com o propósito final de compreender a sua dinâmica, estado e pontos críticos existentes e a sua evolução temporal, de modo a permitir definir metodologias e sistemas de monitorização direcionados para cada uma das especificidades do quebramar.

Como objetivo secundário, mas igualmente importante, foi a utilização dos dados obtidos nas campanhas *in situ* para calibração dos modelos físico e numérico que irão ser apresentados e discutidos nos capítulos 4 e 5 desta dissertação.

Foram definidos dois tipos de sistemas de monitorização que individualmente e/ou em conjunto dão indicação do comportamento do quebramar quanto à sua estabilidade e evolução temporal, bem como são indicadores sobre os impactos que as atividades desenvolvidas e o meio envolvente têm sobre si, possibilitando a quantificação das suas alterações estruturais.

Os dois sistemas de monitorização implementados procuraram analisar a resposta estrutural sob as principais ações (agitação marítima e atracação e desatracação de navios de cruzeiro), com vista a:

- a controlar a estabilidade da superestrutura subdividida em MEQ e MAD;
- a avaliar o impacto da ondulação marítima diretamente sob os tetrápodes de proteção do quebramar, a MMT.

A monitorização da estabilidade da superestrutura do quebramar, MEQ e MAD, permitiu caracterizar o grau de evolução das alterações (fissuras e movimentos de juntas, abertura e deslizamento) identificadas visualmente na superestrutura do quebramar através de campanhas GNSS. A MEQ permitiu quantificar os deslocamentos em cada um dos ponto objeto através de campanhas programadas para estudos de longa

duração, enquanto a MAD, possibilitou analisar o impacto da atracção e desatracção de navios de cruzeiro no quebramar através de campanhas de curta duração, particularmente importante pela crescente tonelagem desses navios de cruzeiro e deste modo concluir se o quebramar está ou não preparado para receber os navios de cruzeiro cujo aumento da dimensão, tonelagem e capacidade de manobra tem-se vindo a verificar.

A MMT permitiu obter informações para quantificar os deslocamentos dos tetrápodes de protecção e assim determinar as zonas ao longo do quebramar mais expostas às ações da agitação marítima, e consequentemente relacioná-las com as instabilidades já identificadas na superestrutura do quebramar, identificando as zonas de impacto mais sensíveis e mais propensas a uma evolução dinâmica.

Posteriormente, e no evoluir dos trabalhos após o desenvolvimento dos modelos físico e numérico, os resultados obtidos nas campanhas *in situ* foram confrontados com os obtidos a partir de ambos os modelos, sendo utilizados para calibração do modelo numérico para que os cenários considerados, relativos à modelação dos impactos da agitação marítima e da atracção, pudessem ser gerados com maior grau de confiança.

Na monitorização foram avaliados deslocamentos com duas técnicas/métodos distintos:

- Técnicas geodésicas por intermédio do GNSS;
- Topografia clássica.

Foram também realizados ensaios de medição de vibrações (em fase de atracção e desatracção) utilizando acelerómetros de grande precisão (acelerómetros uniaxiais da Kinemetrics®). Com base na análise espectral dos registos de acelerações obtidos foram identificadas as principais frequências naturais de vibração do quebramar.

Posteriormente, os dados obtidos pelos acelerómetros foram igualmente utilizados para a calibração do modelo numérico.

Neste capítulo descrevem-se as fases decorridas em cada um dos sistemas de monitorização estrutural do quebramar utilizando os métodos geodésicos, topografia clássica e acelerómetros, as técnicas e metodologias utilizadas, os equipamentos e tipos de dados obtidos, bem como os principais resultados alcançados.

Na secção 3.2 é efetuada a caracterização das épocas iniciais de referência para os sistemas de monitorização, MEQ, MAD e MMT, de forma a existir uma época de comparação inicial a partir da qual se considerou a monitorização. Na secção 3.3 são descritas as campanhas de monitorização da MEQ e os seus principais resultados. Na secção 3.4 são descritas as campanhas conjuntas GNSS e acelerómetros relativos à

MEQ e à MAD e os seus resultados. Na secção 3.5 são caracterizadas as campanhas de monitorização da MMT e os seus principais resultados. Na secção 3.6 são analisados os resultados e efetuadas algumas considerações apoiadas nos resultados obtidos em cada um dos sistemas de monitorização associados às campanhas de monitorização estrutural. Na secção 3.7 são efetuadas algumas considerações finais.

### **3.2 Épocas de Referência**

A época de referência é expressa pela definição das condições existentes inicialmente para futura comparação, considerando-a como ponto de partida.

Definida essa época, a avaliação dos deslocamentos de cada ponto objeto é feita pela comparação direta entre a época de referência e cada uma das épocas subsequentes, isto é, antes de avaliar se cada ponto objeto sofreu algum deslocamento, é necessário definir a sua posição inicial para que posteriormente se quantifiquem esses deslocamentos através da comparação entre a época de referência e os resultados obtidos nas épocas seguintes.

A definição da época de referência da MEQ e da MAD foram comuns, uma vez que a rede da MAD é uma sub-rede da MEQ. Enquanto que a definição da época de referência da MMT foi independente da época da MEQ e MAD, pois a monitorização realizada nos tetrápodes é distinta da monitorização realizada na superestrutura, apesar dos pontos estação da MMT serem os pontos objeto da MEQ e MAD.

#### **3.2.1 Sistema de Monitorização da Estabilidade do Quebramar (MEQ) e Sistema de Monitorização da Atracação e Desatracação de Navios de Cruzeiro (MAD)**

A definição da época de referência para a MEQ e a MAD foi realizada por intermédio da observação geodésica por técnicas espaciais de posicionamento por satélite utilizando o sistema GPS, através de três campanhas de observação distintas realizadas em três dias e em diferentes períodos do dia: de manhã, à tarde e à noite. Esta metodologia foi adotada, pois segundo Seeber (2003), a densidade da atmosfera depende não somente da altura do ponto de observação, mas também da localização

geográfica, estação do ano, altura do dia, atividade solar e geomagnetismo. Assim, para que o resultado final fosse o mais geral possível correspondendo às variações de observação pelas várias partes do dia, as três campanhas de observação para a definição da época de referência para cada ponto objeto foram realizadas em três partes distintas do dia, observando-se diferentes constelações de satélites. As campanhas decorreram nos dias 10, 11 e 13 de maio de 2010.

As campanhas foram realizadas e os dados processados de acordo com a metodologia adotada e já descrita no capítulo 2, nomeadamente: campanha GPS em pós-processamento com órbitas precisas, período de observação de 2 horas à cadência de 1 segundo, 10° de máscara de altura dos satélites, modelo troposférico “Hopfield” e a combinação livre da ionosfera utilizando o *software* de processamento Leica Geo Office.

Foram utilizados dois recetores GPS em simultâneo percorrendo cada um dos pontos objeto pertencente à rede de monitorização definida na secção 2.2.1.2, e um recetor colocado numa posição externa ao quebramar que funcionou como referência, a estação de referência GNSS do Funchal pertencente à RENEP e à EUREF.

Os recetores utilizados são os apresentados na tabela 3.1.

Tipo	Antena GNSS	Recetor GNSS
Referência	Leica AT504GG	Leica GRX1200GGPRO
Móvel 1	Leica AX1203+GNSS	Leica GX1230+GNSS
Móvel 2	Leica AX1202GG	Leica GX1230GG

Tabela 3.1 – Equipamentos utilizados.

A posição final para cada um dos pontos objeto foi obtida através da média simples de cada solução individual obtida em cada uma das três campanhas realizadas. As soluções foram calculadas na realização do ITRF93 e no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE.

As posições finais calculadas para cada um dos pontos objeto pertencente à rede da MEQ e da MAD e desvios padrão para cada uma das componentes são apresentadas nas tabelas 3.2, 3.3 e 3.4 na realização do ITRF93, e nas tabelas 3.5, 3.6 e 3.7 no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE.

As coordenadas apresentadas no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE foram obtidas pela transformação de coordenadas entre a realização do ITRF93 e o

sistema UTM Fuso 28 Datum Base SE, utilizando o modelo de transformação a 7 parâmetros “*Bursa-Wolf*”.

Ponto	Campanha 1 (m)	Campanha 2 (m)	Campanha 3 (m)	Final (m)	Desvio Padrão (m)
1	5143684.5396	5143684.5326	5143684.5394	5143684.5372	0.0040
2	5143688.5492	5143688.5406	5143688.5447	5143688.5448	0.0043
3	5143692.4472	5143692.4468	5143692.4470	5143692.4470	0.0002
4	5143696.5607	5143696.5619	5143696.5655	5143696.5627	0.0025
5	5143700.8391	5143700.8280	5143700.8302	5143700.8324	0.0059
6	5143697.7037	5143697.7012	5143697.7030	5143697.7026	0.0013
7	5143694.8082	5143694.7968	5143694.8012	5143694.8021	0.0057
8	5143694.2663	5143694.2628	5143694.2620	5143694.2637	0.0023
9	5143691.0825	5143691.0807	5143691.0839	5143691.0824	0.0016
10	5143668.5516	5143668.5462	5143668.5500	5143668.5493	0.0028
11	5143643.1552	5143643.1545	5143643.1569	5143643.1555	0.0012
12	5143600.8986	5143600.9003	5143600.8987	5143600.8992	0.0010

Tabela 3.2 – Soluções calculadas para cada época de observação, média final e desvio padrão para a componente X na realização do ITRF93.

Ponto	Campanha 1 (m)	Campanha 2 (m)	Campanha 3 (m)	Final (m)	Desvio Padrão (m)
1	-1563444.7410	-1563444.7406	-1563444.7396	-1563444.7404	0.0007
2	-1563445.9583	-1563445.9543	-1563445.9550	-1563445.9559	0.0021
3	-1563447.2560	-1563447.2555	-1563447.2536	-1563447.2550	0.0013
4	-1563448.4004	-1563448.3998	-1563448.4004	-1563448.4002	0.0003
5	-1563449.7245	-1563449.7227	-1563449.7224	-1563449.7232	0.0011
6	-1563459.7663	-1563459.7657	-1563459.7686	-1563459.7669	0.0015
7	-1563469.1299	-1563469.1273	-1563469.1277	-1563469.1283	0.0014
8	-1563470.6733	-1563470.6726	-1563470.6705	-1563470.6721	0.0015
9	-1563481.0658	-1563481.0658	-1563481.0664	-1563481.0660	0.0003
10	-1563555.5499	-1563555.5492	-1563555.5494	-1563555.5495	0.0004
11	-1563639.1015	-1563639.1016	-1563639.1032	-1563639.1021	0.0010
12	-1563778.2847	-1563778.2849	-1563778.2852	-1563778.2849	0.0003

Tabela 3.3 – Soluções calculadas para cada época de observação, média final e desvio padrão para a componente Y na realização do ITRF93.

Ponto	Campanha 1 (m)	Campanha 2 (m)	Campanha 3 (m)	Final (m)	Desvio Padrão (m)
1	3420623.9337	3420623.9418	3420623.9405	3420623.9387	0.0044
2	3420617.3543	3420617.3514	3420617.3534	3420617.3530	0.0015
3	3420610.8204	3420610.8238	3420610.8183	3420610.8208	0.0028
4	3420604.1735	3420604.1743	3420604.1708	3420604.1729	0.0018
5	3420597.1716	3420597.1674	3420597.1671	3420597.1687	0.0025
6	3420597.3281	3420597.3270	3420597.3277	3420597.3276	0.0006
7	3420597.4593	3420597.4542	3420597.4517	3420597.4551	0.0039
8	3420597.4027	3420597.4023	3420597.3986	3420597.4012	0.0023
9	3420597.3480	3420597.3471	3420597.3463	3420597.3471	0.0009
10	3420597.5617	3420597.5604	3420597.5602	3420597.5608	0.0008
11	3420597.6742	3420597.6764	3420597.6750	3420597.6752	0.0011
12	3420597.5650	3420597.5670	3420597.5645	3420597.5655	0.0013

Tabela 3.4 – Soluções calculadas para cada época de observação, média final e desvio padrão para a componente Z na realização do ITRF93.

Ponto	Campanha 1 (m)	Campanha 2 (m)	Campanha 3 (m)	Final (m)	Desvio Padrão (m)
1	321505.8178	321505.8164	321505.8193	321505.8178	0.0015
2	321505.6791	321505.6805	321505.6810	321505.6802	0.0010
3	321505.4325	321505.4329	321505.4346	321505.4333	0.0011
4	321505.3919	321505.3928	321505.3931	321505.3926	0.0006
5	321505.2199	321505.2185	321505.2193	321505.2192	0.0007
6	321494.7052	321494.7051	321494.7029	321494.7044	0.0013
7	321484.9084	321484.9077	321484.9085	321484.9082	0.0004
8	321483.2742	321483.2739	321483.2756	321483.2746	0.0009
9	321472.4063	321472.4057	321472.4060	321472.4060	0.0003
10	321394.6045	321394.6037	321394.6045	321394.6042	0.0005
11	321307.2950	321307.2947	321307.2938	321307.2945	0.0006
12	321161.8610	321161.8614	321161.8605	321161.8610	0.0005

Tabela 3.5 – Soluções calculadas para cada época de observação, média final e desvio padrão para a componente E no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE.

Ponto	Campanha 1 (m)	Campanha 2 (m)	Campanha 3 (m)	Final (m)	Desvio Padrão (m)
1	3612851.5310	3612851.5415	3612851.5370	3612851.5365	0.0053
2	3612843.7318	3612843.7344	3612843.7338	3612843.7333	0.0014
3	3612836.0179	3612836.0211	3612836.0166	3612836.0185	0.0023
4	3612828.1180	3612828.1182	3612828.1132	3612828.1165	0.0028
5	3612819.8082	3612819.8107	3612819.8093	3612819.8094	0.0013
6	3612820.1718	3612820.1723	3612820.1715	3612820.1719	0.0004
7	3612820.4838	3612820.4858	3612820.4814	3612820.4837	0.0022
8	3612820.5030	3612820.5046	3612820.5022	3612820.5033	0.0012
9	3612820.6652	3612820.6653	3612820.6629	3612820.6645	0.0016
10	3612822.1868	3612822.1886	3612822.1864	3612822.1873	0.0012
11	3612823.8505	3612823.8527	3612823.8501	3612823.8511	0.0014
12	3612826.3464	3612826.3472	3612826.3459	3612826.3465	0.0007

Tabela 3.6 – Soluções calculadas para cada época de observação, média final e desvio padrão para a componente N no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE.

Ponto	Campanha 1 (m)	Campanha 2 (m)	Campanha 3 (m)	Final (m)	Desvio Padrão (m)
1	8.6981	8.6968	8.7013	8.6987	0.0023
2	8.6778	8.6683	8.6728	8.6730	0.0048
3	8.6116	8.6130	8.6098	8.6115	0.0016
4	8.6207	8.6220	8.6231	8.6219	0.0012
5	8.6152	8.6036	8.6051	8.6080	0.0063
6	8.6325	8.6296	8.6322	8.6314	0.0016
7	8.6632	8.6506	8.6529	8.6556	0.0067
8	8.5740	8.5708	8.5676	8.5708	0.0032
9	8.5242	8.5223	8.5246	8.5237	0.0012
10	8.7266	8.7213	8.7244	8.7241	0.0027
11	8.7873	8.7878	8.7895	8.7882	0.0012
12	8.7709	8.7734	8.7708	8.7717	0.0015

Tabela 3.7 – Soluções calculadas para cada época de observação, média Final e desvio padrão para a componente h no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE.

Os 7 parâmetros de transformação entre os dois sistemas de coordenadas, 3 parâmetros de rotação, 3 parâmetros de translação e 1 parâmetro de escala, são disponibilizados pela DGT na sua página oficial de internet. O algoritmo de cálculo usa pontos de coordenadas conhecidas nos dois sistemas de coordenadas, e de acordo com a sua qualidade, são dadas informação sobre o erro inerente à transformação. Uma vez que essas transformações são praticamente constantes a todos os pontos transformados, e no estudo desenvolvido o que se pretendeu foi a comparação entre épocas de observação, esses erros neste caso podem ser desprezáveis porque as variações dos pontos objeto são pequenas demais para serem alteradas pela variação da deformação cartográfica ou pelo fator de escala da transformação de Bursa-Wolf. Tendo isso em consideração, os valores assumidos como valores a considerar para a análise de erros foram os valores (desvio padrão) obtidos pelo sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE e como se pode verificar, nas três campanhas realizadas para a definição da época de referência para a MEQ e para a MAD, as diferenças foram sempre inferiores ao valor do erro definido como máximo a considerar neste tipo de técnicas de observação GNSS.

As coordenadas finais obtidas para cada um dos pontos de controlo foram convertidas para o sistema de coordenadas local definido no objeto de estudo, o quebramar do porto do Funchal.

As coordenadas obtidas no sistema de coordenadas local são as apresentadas na tabela 3.8.

Ponto	x (m)	y (m)	z (m)
1	359.4138	52.1429	8.6987
2	359.4579	44.3367	8.6730
3	359.3906	36.6168	8.6115
4	359.5339	28.7136	8.6219
5	359.5539	20.4029	8.6080
6	349.0334	20.5714	8.6314
7	339.2325	20.7027	8.6556
8	337.5989	20.6921	8.5708
9	326.7293	20.6530	8.5237
10	248.9122	20.7415	8.7241
11	161.5864	20.7957	8.7882
12	16.1325	20.6099	8.7717

Tabela 3.8 – Soluções finais da época de referência no sistema de coordenadas local.



### **3.2.2 Sistema de Monitorização dos Movimentos Macro dos Tetrápodes (MMT)**

A definição da época de referência para a MMT foi realizada por intermédio de técnicas de topografia clássica com estação total, através de uma campanha de observação realizada no dia 29 de maio de 2010.

Uma vez que a ordem de grandeza dos deslocamentos que se estavam à procura neste sistema de monitorização eram superiores ao decímetro, não se tornou necessário realizar várias épocas de observação para definir a época inicial de referência, em oposição do que foi feito para a MEQ e para a MAD.

A campanha foi realizada de acordo com uma metodologia específica para a medição das coordenadas de cada ponto objeto a monitorizar, a partir da medição única e exclusiva de ângulos. Foram medidos os ângulos horizontais e verticais, e não as distâncias, pela dificuldade de colocação em cada um dos pontos objeto de um prisma ou marca refletora própria.

A posição final no sistema de coordenadas local para cada um dos pontos objeto foi obtida diretamente de acordo com o algoritmo definido no sistema de coordenadas local descrito na secção 2.4.

As coordenadas foram obtidas pela medição dos ângulos horizontal e vertical através da intersecção das visadas diretas entre as estações e os tetrápodes individualmente pela metodologia descrita na secção 2.3.1.

O equipamento utilizado foi uma estação total Leica TPS1200 estacionada em tripé, cuja precisão na medição de ângulos é de 1'' sexagesimal e a precisão na medição de distâncias é de 2 mm+2 ppm.

É necessário que os pontos estação e cada um dos pontos materializados sobre os tetrápodes pertencentes à rede de monitorização definidos na secção 2.3.3, tenham linha de visada topográfica desimpedida sem qualquer obstáculo entre si.

As coordenadas planimétricas e altimétricas, referidas ao referencial local de cada ponto sobre os tetrápodes, foram obtidas separadamente.

Uma vez que o número de pontos objeto pertencentes a este sistema de monitorização são 55 pontos, as coordenadas finais calculadas para cada um dos pontos objeto são apresentadas no Anexo F. Na tabela 3.9 são apresentados as coordenadas para os pontos objeto pertencentes ao bloco mais ocidental do conjunto, a título exemplificativo.

PCi	E (m)	N (m)	H (m)
10	321168.7302	3612819.0059	4.2071
11	321169.9597	3612817.0704	3.6025
12	321174.5940	3612817.1367	3.9964
13	321175.4155	3612816.1426	3.8626
14	321177.3745	3612818.4110	3.9152
15	321182.4489	3612818.8256	4.1933
16	321186.1547	3612819.6648	4.3226
17	321189.8391	3612820.6133	4.7872
18	321180.9800	3612817.0566	3.7478
19	321180.9111	3612813.5819	2.6827
20	321178.8948	3612815.1605	3.4192
21	321177.8278	3612813.5917	2.4351
22	321171.0460	3612813.8739	2.2944

Tabela 3.9 – Coordenadas dos tetrápodes pertencentes ao conjunto 1 no sistema de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE.

As coordenadas finais obtidas para cada um dos pontos objeto foram convertidas para o sistema de coordenadas local especialmente definido para o objeto de estudo, o quebramar do porto do Funchal.

As coordenadas obtidas no sistema de coordenadas local, para os mesmos pontos objeto, são as apresentadas na tabela 3.10.

PCi	x (m)	y (m)	z (m)
10	23.1709	13.3956	4.2071
11	24.4451	11.4826	3.6025
12	29.0766	11.6343	3.9964
13	29.9211	10.6553	3.8626
14	31.8268	12.9599	3.9152
15	36.8902	13.4681	4.1933
16	40.5755	14.3757	4.3226
17	44.2368	15.3922	4.7872
18	35.4628	11.6719	3.7478
19	35.4749	8.1957	2.6827
20	33.4224	9.7373	3.4192
21	32.3921	8.1487	2.4351
22	25.6055	8.3059	2.2944

Tabela 3.10 – Coordenadas dos tetrápodes pertencentes ao conjunto 1 no sistema de coordenadas local.

### **3.3 Sistema de Monitorização da Estabilidade do Quebramar (MEQ)**

Definidas as épocas de referência para cada um dos sistemas de monitorização, as campanhas de observações foram iniciadas.

A MEQ, tal como já foi referido, teve como principal objetivo avaliar a estabilidade estrutural da superestrutura do quebramar uma vez que foram identificadas várias zonas evidenciando algumas alterações, cuja evolução se pretendia monitorizar. As autoridades portuárias temiam que a evolução da deterioração fosse de tal forma elevada que pudesse por em risco a sustentabilidade da infraestrutura portuária a nível da segurança de todos os que a utilizam, bem como pela salvaguarda dos investimentos realizados.

Como já foi abordado na secção 2.2.1.2, foi definida e materializada uma rede de monitorização composta por 12 pontos objeto materializados por marcas chumbadas nas zonas identificadas como sendo as mais sensíveis sobre a crista da superestrutura do quebramar ao longo de uma extensão de 375 m, e por um ponto exterior ao quebramar, considerado referência e materializado pela estação permanente GNSS do Funchal pertencente à RENEP e à EUREF.

A metodologia adotada caracterizou-se por períodos de observação de 2 horas, à cadência de 1 segundo, com uma máscara de altura dos satélites de  $10^\circ$ , com órbitas precisas, modelo troposférico “Hopfield”, modelo ionosférico calculado com as observações usando o sistema GPS, também já discutido na secção 2.2.1.1.

À semelhança do que foi realizado para a definição da época de referência deste sistema de monitorização foram utilizados dois recetores GNSS em simultâneo percorrendo cada um dos pontos objeto pertencente à rede de monitorização definida na secção 2.2.1.2.

A duração total de cada época de observação para os 12 pontos objeto foram de 13 horas aproximadamente, procurando-se entre cada época de observação, variar o período do dia em que cada um dos pontos objeto era monitorizado. Os recetores utilizados foram os apresentados na tabela 3.1.

### 3.3.1 Resultados

Foram realizadas dez campanhas de observação ao longo de um período superior a dois anos (entre maio de 2010 e julho de 2012), originando 10 épocas para comparação com a época de referência.

Durante as campanhas foram estacionadas as antenas GNSS nos pontos objeto, registrando-se as observações, processando-se os dados e analisando-se os resultados daí provenientes.

As tabelas 3.11, 3.12, 3.13 e 3.14 apresentam as épocas de observação realizadas e os resultados obtidos, a título exemplificativo, para os pontos objeto MC01, MC07, MC08 e MC10. Os restantes resultados das campanhas para cada um dos pontos objeto pertencentes à MEQ, são apresentados no Anexo G. O Anexo G contém ainda os resultados dos processamentos dos dados para cada época de observação através do *software* de processamento de dados Leica Geo Office e uma tabela com as diferenças entre as épocas de observação e a época de referência para cada ponto objeto nos sistemas de coordenadas UTM Fuso 28 Datum Base SE e no sistema de coordenadas local definido.

Os pontos objeto MC01, MC07, MC08 e MC10 foram os escolhidos porque os resultados obtidos nestes pontos foram os mais representativos do tipo de resultados encontrados para o conjunto dos pontos objeto, e, que carecem de análise, podendo-se, de seguida, generalizá-la para os restantes pontos.

Época	x (m)	y (m)	z (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (m)
Referência	359.4138	52.1429	8.6987			
20Maio2010	359.4173	52.1385	8.6897	0.0035	-0.0044	-0.0090
23Junho2010	359.4190	52.1342	8.7095	0.0052	-0.0087	0.0108
21Julho2010	359.4741	52.0792	8.6863	0.0603	-0.0637	-0.0124
16Outubro2010	359.4144	52.1416	8.7062	0.0006	-0.0013	0.0075
26Novembro2010	359.6823	52.1969	8.5620	0.2685	0.0540	-0.1367
07Janeiro2011	359.4151	52.1405	8.6941	0.0013	-0.0024	-0.0046
22Março2011	359.4155	52.1400	8.7083	0.0017	-0.0029	0.0096
19Agosto2011	359.3005	52.1329	8.6856	-0.1133	-0.0100	-0.0131
27Janeiro2012	359.4200	52.1286	8.7063	0.0062	-0.0143	0.0076
17Julho2012	359.5112	51.7704	8.9996	0.0974	-0.3725	0.3009

Tabela 3.11 – Épocas de observação GPS e resultados no sistema de coordenadas local MC01.

Perante os resultados apresentados na tabela 3.11, verifica-se uma inconsistência nos valores encontrados para o ponto objeto MC01. Os valores têm oscilações em todas as componentes entre épocas. Não têm um comportamento constante ao longo das épocas de monitorização, isto é, os valores encontrados apresentam variações de ordem do decímetro para algumas épocas e para outras épocas os valores são novamente semelhantes aos da época de referência, não apresentando um “sentido” de variação evidente. Existem valores positivos e outros negativos, com variações de grande amplitude que não se verificam nas épocas subsequentes.

Os valores encontrados são típicos de campanhas de observação onde se encontram fenómenos de multicaminho, perfeitamente plausível para o local onde o ponto objeto MC01 foi implantado.

Pela figura 3.1 pode-se comprovar que não se trata de um ponto de observação GNSS muito adequado. Está praticamente colado ao farol sinalizador da entrada do porto do Funchal, sendo ideal para criar reflexões das ondas emitidas pelos satélites, bem como obstruções que daí poderão advir.



Figura 3.1 – Ponto objeto MC01.

Logo à partida este ponto foi identificado como sendo um ponto em que hipoteticamente se teriam grandes problemas de multicaminho, mas como se tratava de um ponto importante a monitorizar na cabeça do quebramar (figura 3.2), optou-se por incluí-lo na rede de monitorização da MEQ. Em muitas aplicações em engenharia, o multicaminho é um factor problemático (Barnes e Cross, 1998). Segundo Bilich e Larson (2007), o multicaminho traduz-se por uma receção do sinal por mais do que um caminho sendo a fonte de erro posicional mais difícil de neutralizar. Uma vez que a fase e amplitude do multicaminho varia com as mudanças das constelações GPS e é extremamente dependente do ambiente circundante do local de observação, é muito difícil utilizar modelos matemáticos para quantificar a assinatura do multicaminho e reduzir a sua influência (Dodson *et al.*, 2001). Para se poder afirmar com toda a certeza

que as diferenças encontradas no ponto objeto MC01 se devem ao multicaminho, ter-se-ia de desenvolver um estudo próprio para o efeito. A modelação do multicaminho, do tipo signal to noise ratio (SNR) é outro tipo de mitigação do multicaminho proposta por Axelrad *et al.* (1996). Contudo, em muitas situações é complexo extrair o SNR das observações. Uma vez que este tipo de estudo se distanciava dos propósitos iniciais definidos para este trabalho, não se confirmou essa causa.



Figura 3.2 – Deslocamento diferencial na cabeça do quebramar. Ponto objeto MC01.

Poder-se-ia procurar ultrapassar esta situação materializando o ponto objeto no topo do farol, ou ainda, elevando a antena GNSS à altura do farol por intermédio de uma peça metálica. Ambas as situações tiveram de ser descartadas uma vez que a materialização no topo do farol não é possível por se tratar de um equipamento eletrónico e não ter superfície livre de encaixe e a construção de uma peça metálica capaz de elevar a altura da antena GNSS à mesma do farol era inviável financeiramente.

Em consequência do anteriormente referido, para o ponto objeto MC01 não foi possível retirar conclusões do estudo, sendo portanto excluído.

Uma vez que se trata de um ponto da maior importância para a monitorização da evolução da estabilidade do quebramar na sua parte mais extrema, dever-se-á adotar uma metodologia de monitorização que não envolva unicamente campanhas de observação GNSS, ou em alternativa gerir a monitorização do ponto objeto MC01 de forma distinta dos restantes, usando, por exemplo, estação total conjugada com nivelamento geométrico. Esta alternativa, carece de mais meios técnicos e humanos especializados.

Os pontos objeto MC07 e MC08, são dois pontos fundamentais da rede de monitorização pelo facto de em conjunto estarem distribuídos por dois blocos da superestrutura do quebramar em que se evidenciavam claros desníveis, evidenciando uma elevação ou abatimento de um dos blocos, ou seja, deslocamentos diferenciais (figura 3.3).



Figura 3.3 – Pontos objeto MC07 e MC08.

As tabelas 3.12 e 3.13 apresentam os resultados para os pontos objeto MC07 e MC08, evidenciando uma consonância nos resultados.

Época	x (m)	y (m)	z (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (m)
Inicial	339.2325	20.7026	8.6556			
20Maio2010	339.2324	20.7018	8.6540	-0.0001	-0.0008	-0.0016
23Junho2010	339.2326	20.7026	8.6514	0.0001	0.0000	-0.0042
21Julho2010	339.2329	20.7033	8.6525	0.0004	0.0007	-0.0031
16Outubro2010	339.2322	20.7025	8.6584	-0.0003	-0.0001	0.0028
26Novembro2010	339.2326	20.7024	8.6591	0.0001	-0.0002	0.0035
07Janeiro2011	339.2317	20.7033	8.6556	-0.0008	0.0007	0.0000
22Março2011	339.2321	20.7027	8.6560	-0.0004	0.0001	0.0004
19Agosto2011	339.2340	20.7013	8.6519	0.0015	-0.0013	-0.0037
27Janeiro2012	339.2322	20.6969	8.6559	-0.0003	-0.0057	0.0003
17Julho2012	339.2356	20.6983	8.6582	0.0031	-0.0043	0.0026

Tabela 3.12 – Épocas de observação GPS e resultados no sistema de coordenadas local MC07.



Época	X(m)	Y(m)	Z(m)	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
Inicial	337.5988	20.6921	8.5708			
20Maio2010	337.5974	20.6922	8.5717	-0.0014	0.0001	0.0009
23Junho2010	337.5983	20.6935	8.5699	-0.0005	0.0014	-0.0009
21Julho2010	337.5987	20.6921	8.5754	-0.0001	0.0000	0.0046
16Outubro2010	337.5976	20.6935	8.5764	-0.0012	0.0014	0.0056
26Novembro2010	337.5985	20.6931	8.5754	-0.0003	0.0010	0.0046
07Janeiro2011	337.5963	20.6924	8.5779	-0.0025	0.0003	0.0071
22Março2011	337.5978	20.6911	8.5776	-0.0010	-0.0010	0.0068
19Agosto2011	337.5997	20.6919	8.5761	0.0009	-0.0002	0.0053
27Janeiro2012	337.5999	20.6873	8.5704	0.0011	-0.0048	-0.004
17Julho2012	337.6018	20.6897	8.5760	0.0030	-0.0024	0.0052

Tabela 3.13 – Épocas de observação GPS e resultados no sistema de coordenadas local MC08.

Pela análise das tabelas 3.12 e 3.13 verifica-se que as variações verificadas assumem-se que são intrínsecas às técnicas de observação GNSS utilizadas não sendo significativas para o objeto de estudo. Os valores são consistentes entre si, definindo-se que o objeto de estudo nos pontos objeto referidos está estável pelo período de tempo que a monitorização se desenvolveu.

Época	x (m)	y (m)	z (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (m)
Inicial	248.9122	20.7415	8.7241			
20Maio2010	248.9116	20.7415	8.7229	0.0006	0.0000	0.0012
23Junho2010	248.9126	20.7433	8.7222	-0.0004	-0.0018	0.0019
21Julho2010	248.9124	20.7405	8.7245	-0.0002	0.0010	-0.0004
16Outubro2010	248.9104	20.7416	8.7247	0.0018	-0.0001	-0.0006
26Novembro2010	248.9115	20.7426	8.7260	0.0007	-0.0011	-0.0019
07Janeiro2011	248.9130	20.7436	8.7237	-0.0008	-0.0021	0.0004
22Março2011	248.9130	20.7405	8.7241	-0.0008	0.0010	0.0000
19Agosto2011	248.9107	20.7419	8.7223	0.0015	-0.0004	0.0018
27Janeiro2012	248.9141	20.7414	8.7117	-0.0019	0.0001	0.0044
17Julho2012	248.9131	20.7394	8.7198	-0.0009	0.0021	0.0043

Tabela 3.14 – Épocas de observação GPS e resultados no sistema de coordenadas local MC10.

Perante os resultados obtidos para o ponto objeto MC10 apresentados na tabela 3.14, verifica-se igualmente uma variação dentro da esfera de erro considerada, valores esses não significativos para o objeto de estudo.



Os valores encontrados demonstram que apesar das inspeções visuais indicarem que a estabilidade do quebramar está comprometida, aparentando que as alterações identificadas sofrem uma evolução temporal significativa caminhando para deslocamentos e anomalias, isso estruturalmente não se verifica.

As figuras 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 apresentam as variações por componente para os onze pontos objeto em conjunto, procurando apresentar as tendências dessas variações.

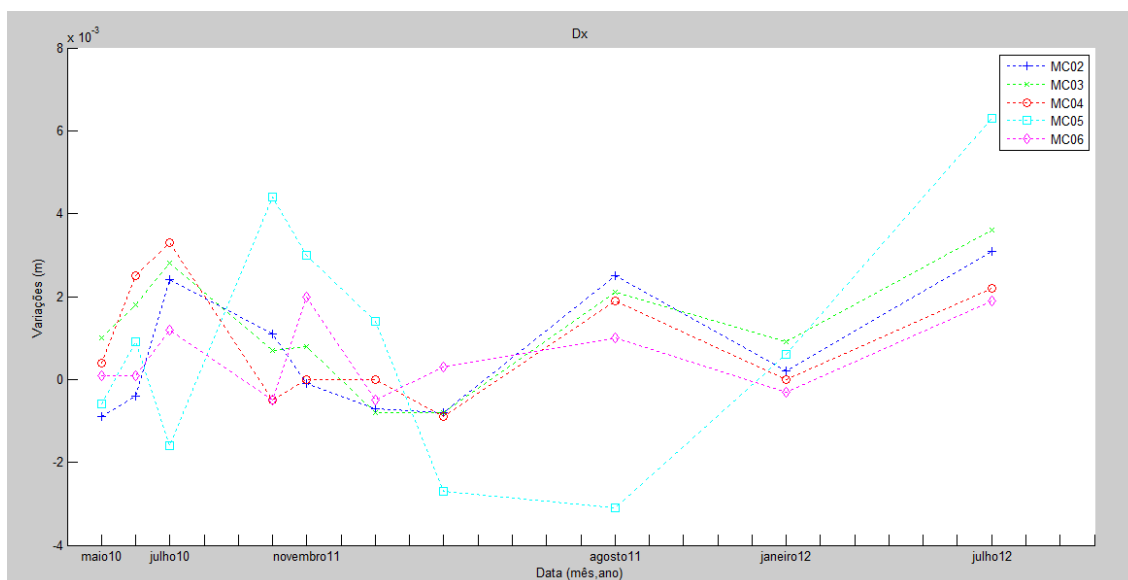


Figura 3.4 – Variações componente x para os pontos objeto MC02, MC03, MC04, MC05 e MC06.

Verifica-se que não existe uma tendência, mas sim variações de valores dentro das esferas de erros definidas como balizadoras dos erros inerentes à técnica de observação escolhida.

Os resultados obtidos para os restantes pontos objecto são semelhantes aos apresentados para os pontos de controlo MC07, MC08 e MC10 à exceção do ponto objecto MC01 pelas razões já descritas anteriormente. Os resultados e conclusões são semelhantes entre si, considerando-se que todos os pontos objecto monitorizados estão em condições similares.

Os pontos objecto e resultados apresentados são representativos de todo o quebramar abrangido pela MEQ, evidenciando a sua estabilidade e equilíbrio ao longo do período de monitorização considerado.

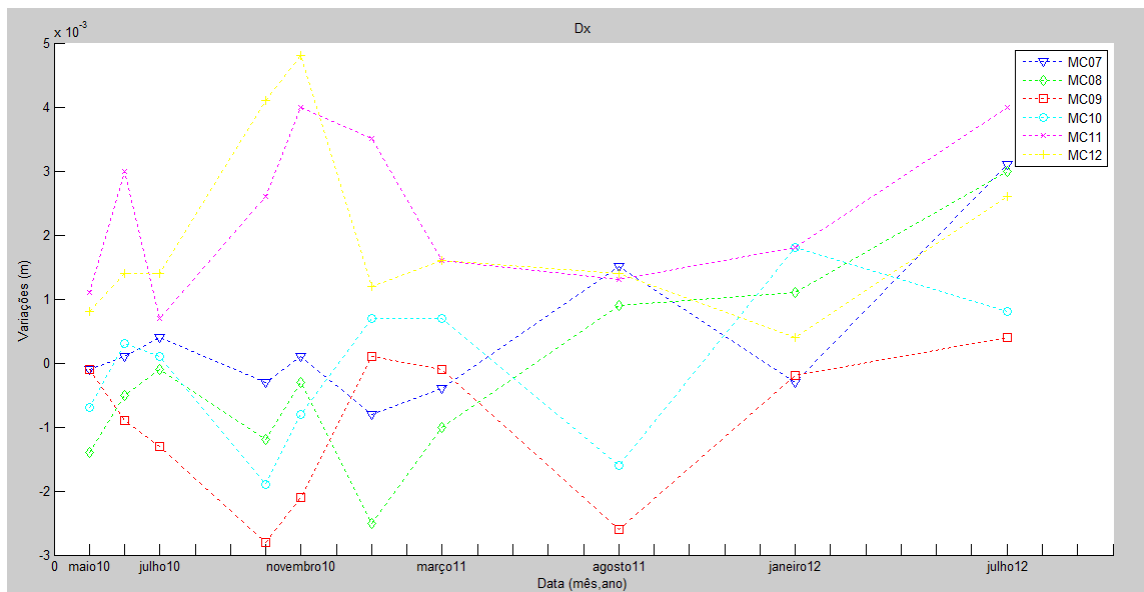


Figura 3.5 – Variações componente x para os pontos objeto MC07, MC08, MC09, MC10, MC11 e MC12.

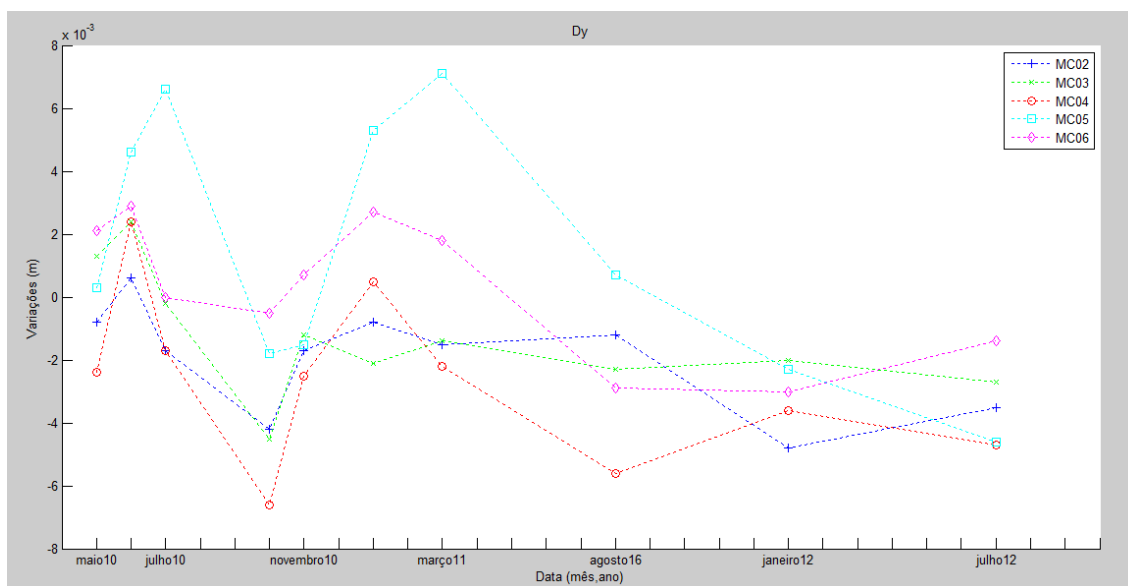


Figura 3.6 – Variações componente y para os pontos objeto MC02, MC03, MC04, MC05 e MC06.

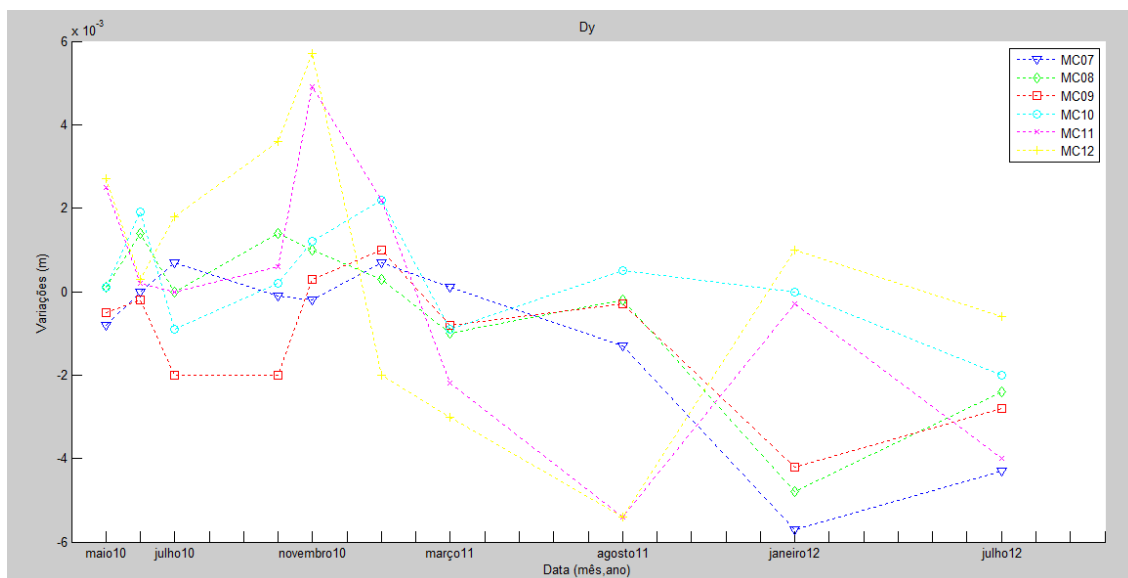


Figura 3.7 – Variações componente y para os pontos objeto MC07, MC08, MC09, MC10, MC11 e MC12.

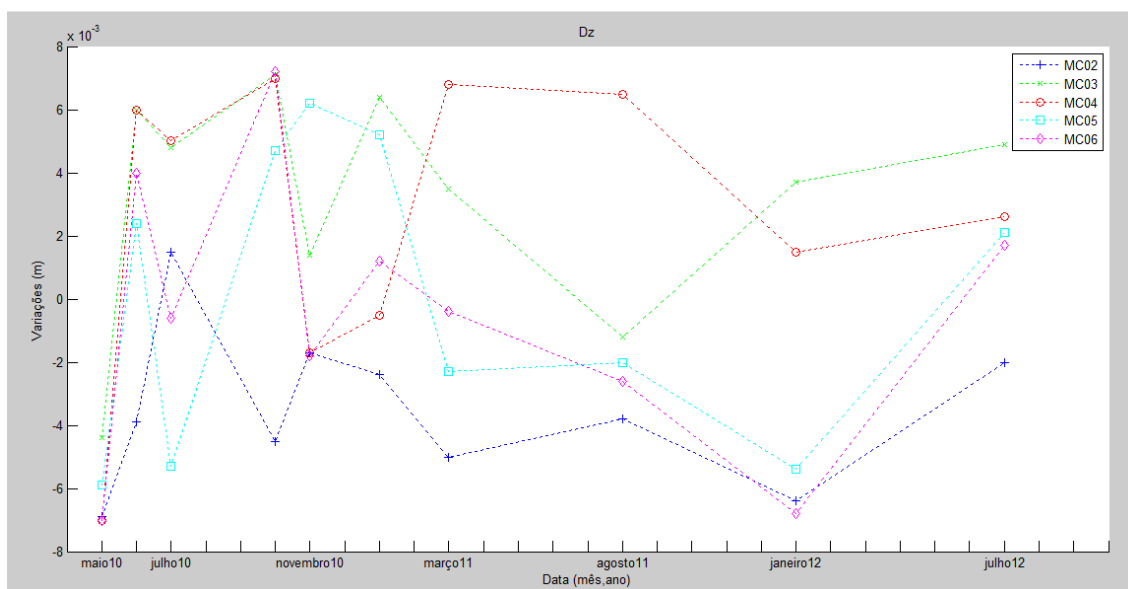


Figura 3.8 – Variações componente z para os pontos objeto MC02, MC03, MC04, MC05 e MC06.

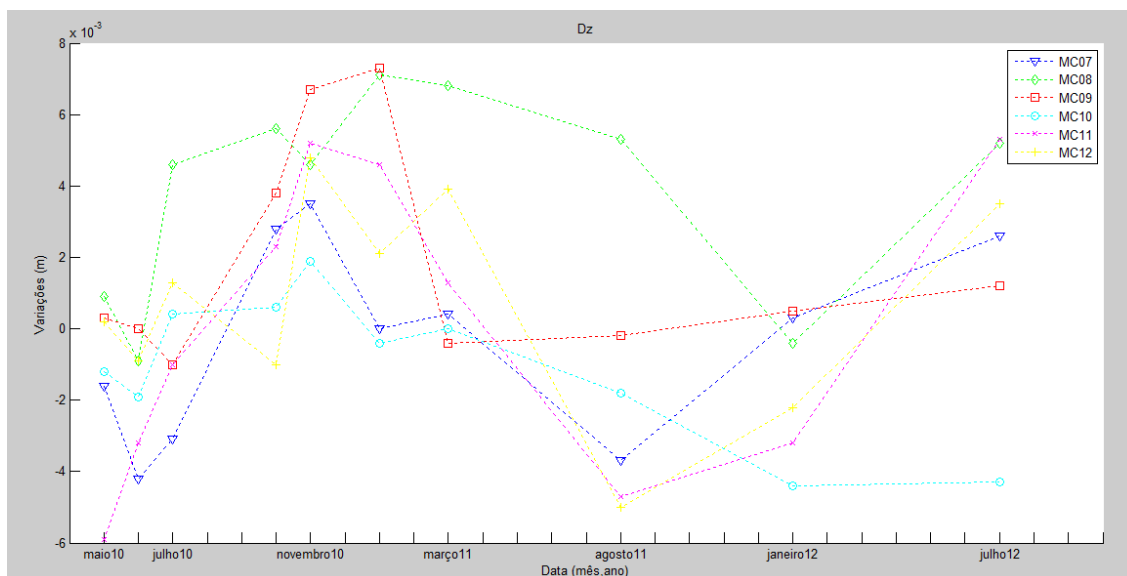


Figura 3.9 – Variações componente z para os pontos objeto MC07, MC08, MC09, MC10, MC11 e MC12.

### 3.4 Sistema de Monitorização da Atracação e Desatracação de Navios de Cruzeiro (MAD)

A crescente dimensão e tonelagem dos navios de cruzeiro em resultado de uma procura cada vez maior deste meio de transporte/lazer nos tempos mais recentes, leva a que seja necessário equacionar possíveis alterações nos quebra-mares mistos (com capacidade de acostagem no paramento interior) de modo a se adaptarem a estas novas exigências.

Para estudar o impacto que os navios de cruzeiro têm sobre o quebramar do porto do Funchal, definiu-se um sistema de monitorização dividido em duas partes:

- Campanhas de observação GNSS;
- Campanhas de observação integrada, usando GNSS e acelerómetros.

A rede de monitorização das campanhas de observação GNSS foi composta por três pontos objeto e um ponto de referência, sendo os pontos objeto a MC09, a MC10 e a MC11 da rede constituída para a MEQ.

A rede de monitorização das campanhas de observação conjunta GNSS e acelerómetros foi a rede definida para as campanhas de observação GNSS juntamente com três pontos acelerómetros na envoltória do ponto objeto MC10 e excecionalmente numa campanha de observação um ponto pilar sobre a crista do quebramar distante de todos os outros.

Para cada época de monitorização da MAD foram utilizados dois desses pontos em simultâneo, escolhidos de acordo com o comprimento do navio de cruzeiro em questão e os pontos de amarração utilizados pelos operadores portuários para a manobra. A escolha dos pontos objeto a utilizar sobre o quebramar era feita a cada campanha, tomando como referência a informação disponibilizada pelas autoridades portuárias.

A MAD teve como principal objetivo analisar o impacto dos navios de cruzeiro no quebramar durante estas operações marítimas através da observação dos deslocamentos em cada ponto objeto, complementada pelas acelerações medidas com acelerómetros, através de campanhas de curta duração.

Assim, para este tipo de sistema de monitorização fez-se a sua análise em três vertentes distintas:

- Identificação de deslocamentos através da comparação direta entre as variações nas componentes x, y e z para épocas de atracação/desatracação de navios de cruzeiro e épocas sem navio de cruzeiro;
- Correlação das acelerações identificadas com os deslocamentos obtidos através de uma análise no domínio do tempo e;
- Identificação das frequências naturais e modos de vibração próprios do quebramar.

A informação recolhida nesta secção serviu ainda para a calibração dos modelos físico e numérico descritos nos capítulos 4 e 5.

As campanhas de observação GNSS foram realizadas em modo cinemático através de campanhas de curta duração com elevada frequência de amostragem. Os equipamentos utilizados foram os mesmos utilizados nas campanhas da MEQ, utilizando para o processamento de dados o *software* GAMIT-TRACK, através do método do posicionamento relativo.

### **3.4.1 Campanhas de Observação GNSS**

Para cada uma das épocas de observação foram estacionadas antenas GNSS nos pontos objeto, registando-se as observações. Os recetores utilizados são os anteriormente utilizados e já descritos na tabela 3.1. A frequência de amostragem foi de 1 Hz compatibilizando com os dados disponibilizados pela estação permanente do Funchal.

Foram realizadas seis campanhas de observação ao longo de um período de catorze meses.

A tabela 3.15 apresenta as datas das campanhas, o navio considerado, o seu comprimento e a sua tonelagem.

Data	Navio	Comprimento (m)	Tonelagem (t)
20Agosto2010	Costa Mediterranea	292	85619
11Novembro2010	Celebrity Constellation	294	91000
25Novembro2010	Independence of the Seas	338	160000
21Março2011	Independence of the Seas	338	160000
23Março2011	Oriana	260	69153
27Outubro2011	Independence of the Seas	338	160000

Tabela 3.15 – Principais características dos navios de cruzeiro utilizados nas campanhas da MAD.

A MAD foi realizada em modo contínuo, começando a monitorização aproximadamente 15 minutos antes das manobras de atracação se iniciarem, finalizando cerca de 15 minutos após as manobras de desatracação e saída efetiva dos navios de cruzeiro ocorrer. Com esta metodologia foi criado um ficheiro único de observação por recetor GNSS.

O início e fim de cada campanha da MAD eram confirmados junto das autoridades portuárias na medida em que existiam constantes ajustes nas escalas dos navios de cruzeiro, o que por vezes comprometia o trabalho.

#### 3.4.1.1 Resultados

Para permitir uma análise direcionada dos dados recolhidos nas campanhas de observação e deste modo facilitar a interpretação dos resultados, o ficheiro de observação foi dividido nas observações referentes à atracação, nas observações referentes à desatracação e nas observações referentes ao período em que o navio de cruzeiro se manteve atracado, constituindo-se assim três ficheiros de dados distintos.

Com este procedimento foi possível estudar o processo de duas formas distintas:

- Como um todo, analisando as observações em conjunto;
- Separadamente, analisando individualmente cada um dos processos de atracação, desatracação e período em repouso.

Na tabela 3.16 são apresentadas as datas das campanhas, os pontos utilizados e as amplitudes máximas em cada uma das componentes,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta z$ , para cada um dos intervalos. A amplitude máxima (AMax) é a maior diferença entre duas épocas consecutivas identificada por um degrau. Para a realização desse cálculo foi criada uma rotina em MATLAB® (Anexo H). Com esta rotina foi possível identificar qual a variação máxima entre duas épocas consecutivas, procurando-se dessa forma identificar os impactos dos processos de atracação e desatracação na superestrutura do quebramar. A figura 3.10 apresenta, a título exemplificativo para o ponto MC10, as variações de amplitude em cada uma das componentes  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta z$  referentes à campanha de atracação de 21 de março de 2011.

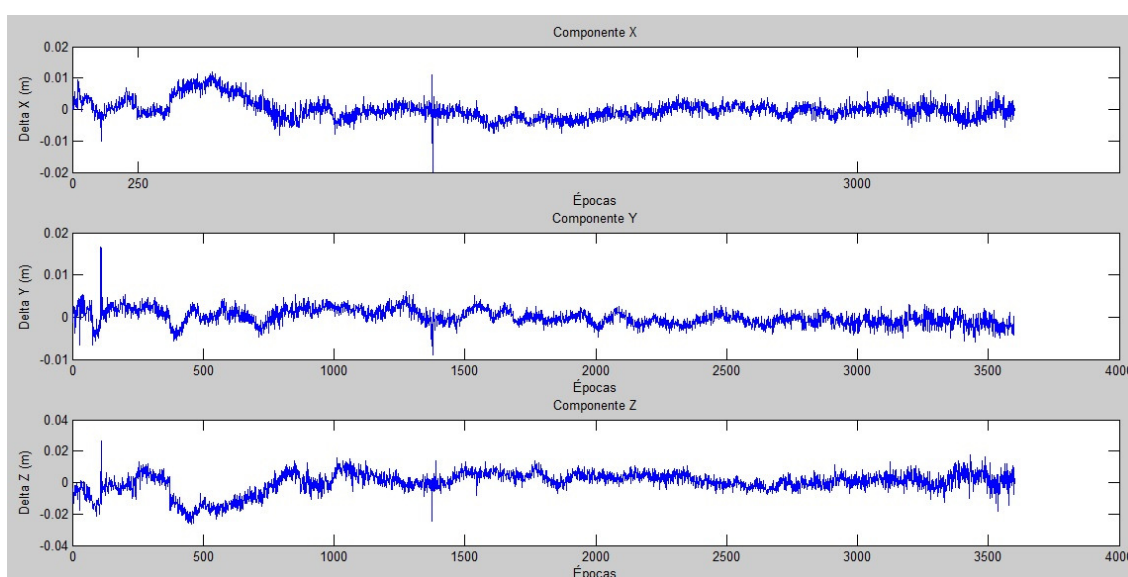


Figura 3.10 – Gráfico de variações para o MC10 referente à atracação de 21 de março de 2011.

Analisando os gráficos de variações apresentado na figura 3.10, pode-se concluir que componente z é a que sofre maior variação da amplitude, como seria de esperar numa campanha GNSS (Shuanggen *et al.*, 2005).

As variações máximas para a campanha em questão foram para cada uma das componentes x, y e z de 0.0187 m, 0.0116 m e 0.0272 m, respetivamente.

As figuras 3.11 e 3.12 apresentam uma comparação direta entre as variações de amplitudes para a época de 21 de março de 2011 em que o navio se encontra em repouso e a campanha de 23 de junho de 2010 da MEQ para o mesmo ponto objeto, MC10, de modo a ser possível verificar se existe alguma diferença nas variações obtidas

em cada um dos tipos de monitorização, procurando desse modo transpor a influência que o navio de cruzeiro tem ou não tem no processo de atracação e desatracação.

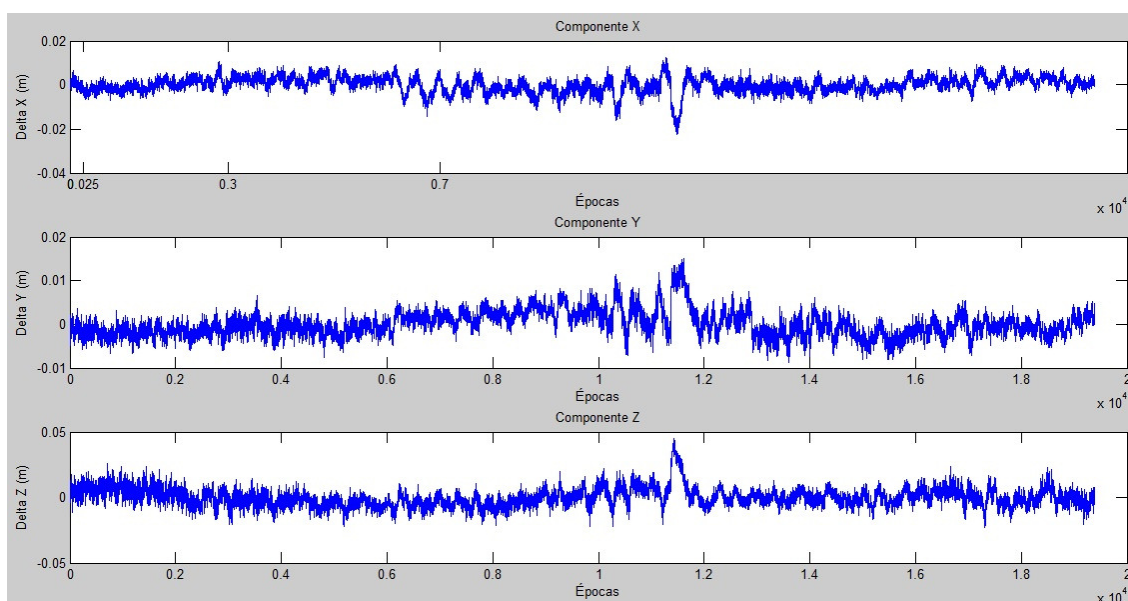


Figura 3.11 – Gráfico de variações para o MC10 referente ao período em que o navio esteve atracado de 21 de março de 2011.

As variações de amplitude apresentadas na figura 3.11 para cada uma das componentes x, y e z foram de 0.0100 m, 0.0088 m e 0.0207 m, durante o período em que o navio de cruzeiro esteve atracado no porto.

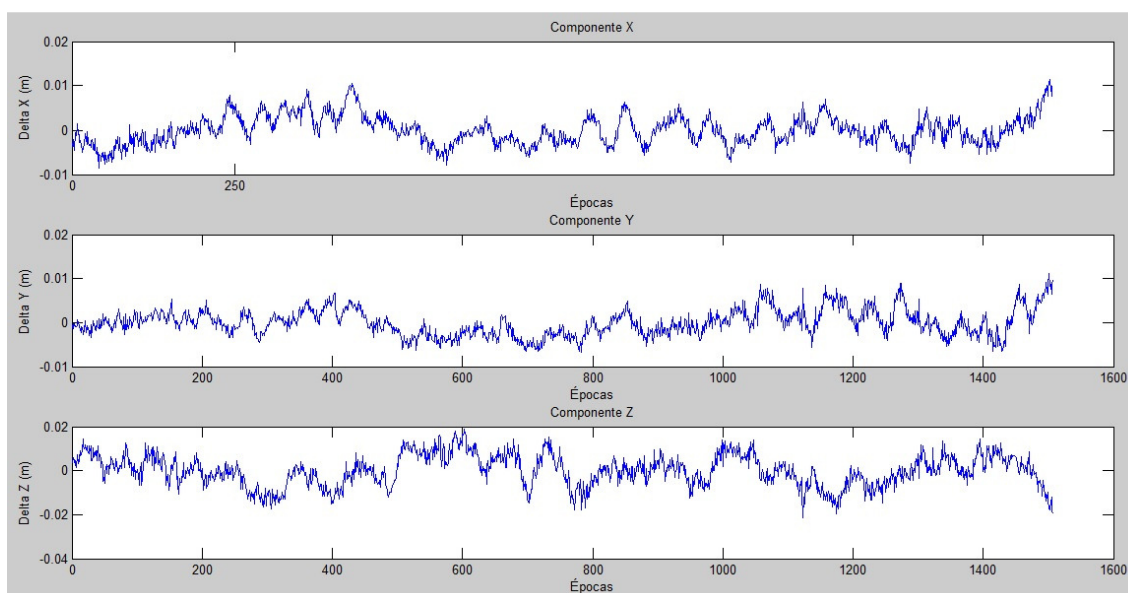


Figura 3.12 – Gráfico de variações para o MC10 referente à campanha da MEQ de 23 de junho de 2010.



Época	Processo	Ponto	AMax x (mm)	AMax y (mm)	AMax z (mm)
20Agosto2010	Atracção	MC09	8.3	6.3	20.1
		MC11	6.5	5.3	17.2
	Desatracção	MC09	6.6	4.9	16.7
		MC11	21.9	5.4	33.9
	Repouso	MC09	14.9	14.6	35.2
		MC11	14.6	9.8	35.5
11Novembro2010	Atracção	MC09	7.9	6.0	20.6
	Desatracção		15.1	10.5	39.2
	Repouso		15.3	7.8	29.5
25Novembro2010	Atracção	MC10	28.1	6.9	32.0
		MC11	12.7	6.4	26.1
	Desatracção	MC10	9.2	8.4	31.3
		MC11	11.7	11.1	40.8
	Repouso	MC10	14.6	8.8	49.0
		MC11	40.8	12.5	55.7
21Março2011	Atracção	MC10	18.7	11.6	27.2
	Desatracção		53.3	19.0	131.5
	Repouso		10.0	8.8	20.7
23Março2011	Atracção	MC11	21.0	15.7	15.7
	Desatracção		6.1	7.7	20.4
	Repouso		95.9	48.7	135.6
27Outubro2011	Atracção	MC10	9.4	6.7	22.6
		MC11	18.0	18.1	28.9
	Desatracção	MC10	16.8	8.8	49.0
		MC11	12.3	5.4	24.2
	Repouso	MC10	53.1	26.1	116.6
		MC11	59.6	53.7	224.7

Tabela 3.16 – Campanhas de observação GNSS, pontos e amplitudes máximas.

As variações apresentadas na figura 3.12 para cada uma das componentes x, y e z foram de 0.0062 m, 0.0096 m e 0.0117 m, durante o período de observação referente à campanha da MEQ de 23 de junho de 2010. Foram igualmente calculadas as variações para o ponto objeto MC10 da MEQ de 26 de novembro de 2011, encontrando-se, respetivamente, para cada componente x, y e z os valores de 0.011 5m, 0.0065 m e 0.0184 m.

Pelos resultados apresentados, conclui-se que os valores das diferenças máximas identificadas correspondem a variações devidas às técnicas utilizadas, assumindo-se que essas diferenças são inerentes aos erros do tipo de monitorização, não sendo possível identificar/quantificar a influência dos processos de atracação e desatracação na estabilidade do quebramar. Os valores são da mesma ordem de grandeza em ambos os tipos de monitorização.

### **3.4.2 Campanhas de Observação Conjunta GNSS e Acelerómetros**

Segundo Meo *et al.* (2002), o sistema GPS, como uma ferramenta de avaliação não destrutiva, pode ser utilizada para detetar deformações geométricas. No entanto, o sistema GPS não pode ser usado para detetar potenciais corrosões e fadigas dos materiais que não se traduzam em deslocamentos superficiais. Este tipo de ocorrências não visíveis e que interferem na estabilidade e segurança das infraestruturas são igualmente importantes de estudar e quantificar, sendo necessário recorrer a ferramentas, equipamentos e metodologias de monitorização complementares.

Assim, para a MAD foram realizadas campanhas conjuntas com GNSS e acelerómetros, procurando garantir a consistência dos resultados obtidos pela complementaridade de ambos os sistemas, otimizar este tipo de metodologias para futuras monitorizações, e ainda identificar hipotéticas fragilidades intrínsecas da infraestrutura. Este tipo de metodologia implica um acompanhamento a longo prazo de modo a identificar variações nas frequências naturais e modos de vibração da infraestrutura entre épocas de monitorização.

Foram realizadas quatro campanhas conjuntas de observação GNSS e acelerómetros nos dias 22 de fevereiro de 2012, e nos dias 7, 8 e 9 de setembro de 2012.

A tabela 3.17 apresenta as datas das campanhas, o navio acostado, o seu comprimento e a sua tonelagem.

Data	Navio	Comprimento (m)	Tonelagem (t)
22Fevereiro2012	AidaBella	252	69203
07Setembro2012	Riviera	239	66084
08Setembro2012	Costa Deliziosa	292	92600
09Setembro2012	Sem Navio	-	-

Tabela 3.17 – Principais características dos navios de cruzeiro considerado nas campanhas conjuntas da MAD com GNSS e acelerómetros.

Na campanha de 22 de fevereiro de 2012 foram utilizados 3 acelerómetros uniaxiais na proximidade do ponto MC10, sendo montados para medições na direção vertical e na direção horizontal perpendicular ao quebramar coincidente com o eixo dos y do sistema de coordenadas local, e ainda 5 recetores GPS, apresentados na tabela 3.18. O sistema GNSS foi composto por cinco pontos - quatro objeto e uma referência – onde ficaram colocadas antenas GNSS. Os pontos objeto situaram-se todos na crista do quebramar: três são os mesmos pontos já utilizados na monitorização: MC09, MC10 e MC11 e ainda um ponto afastado.

Na figura 3.13 pode-se observar a antena GNSS identificada com o ponto 3 e os três acelerómetros:

- A1 – vertical, do lado do mar;
- A2 – vertical, do lado do porto;
- A3 – horizontal.

É também indicada a posição do outro recetor GNSS no ponto 1 e apresentado o sistema Vibambi com maior pormenor.

A instalação de dois acelerómetros para medir na direção vertical destinou-se a tentar detetar uma eventual rotação do quebramar em torno do eixo longitudinal. Esta montagem permitirá detetar uma eventual rotação do quebramar em torno do eixo longitudinal no caso de estes acelerómetros apresentarem nas suas observações sinusoidais de sinais contrários.

Nas campanhas de monitorização de setembro de 2012 foram utilizados os mesmos três acelerómetros uniaxiais montados na proximidade do ponto objeto MC10, mas agora somente três recetores GNSS: referência, móvel 1 e móvel 2 (descritos na tabela 3.18). Para o recetor referência foi novamente utilizada a estação permanente do Funchal, enquanto os recetores móvel 1 e móvel 2 ficaram estacionados nos pontos objeto MC09 e MC10, respetivamente.

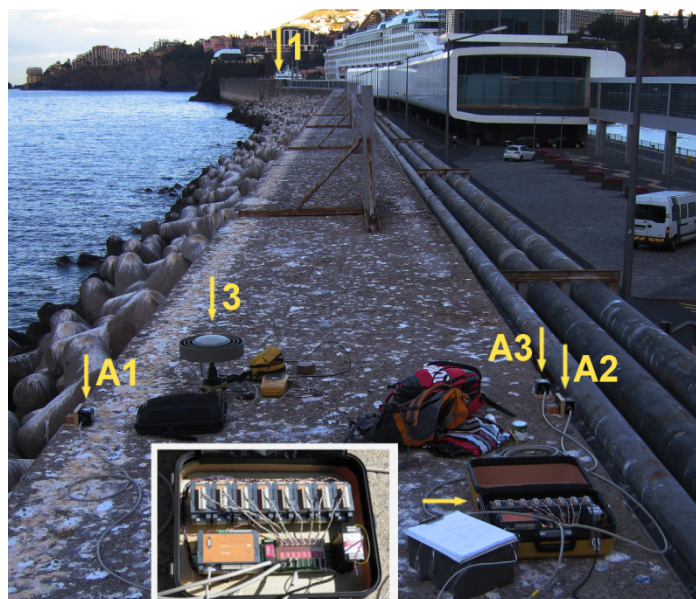


Figura 3.13 – Localização dos acelerómetros (A1, A2 e A3), da antena GNSS nos pontos 1 e 3 e pormenor do sistema Vibambi.

Tipo	Antena GNSS	Recetor GNSS
Referência	Leica AT504GG	Leica GRX1200GGPRO
Móvel 1	Leica AX1203+GNSS	Leica GX1230+GNSS
Móvel 2	Leica AX1202GG	Leica GX1230GG
Móvel 3, 4	Topcon TPSCR3_GGD	Topcon TPS GB1000

Tabela 3.18 – Equipamentos GNSS utilizados nas campanhas conjuntas GNSS e acelerómetros.

Deste modo, a instalação dos acelerómetros foi efetuada de forma a medir na direção horizontal procurando detetar alguma translação do quebramar na direção do eixo transversal correspondendo a algum impacto a quando da atracação ou desatracação dos navios de cruzeiro.

Os acelerómetros e os seus respetivos componentes utilizados em ambas as campanhas foram:

- Acelerómetros Episensor ES-U2 (uniaxial) da Kinematics (gama de amplitudes  $\pm 10$  volts:  $\pm 0,25$  g), configurados para uma frequência de amostragem de 250Hz;
- Digitalizadores: A1 da Gantner Instruments;
- Concentrador de dados: Epac de 19 bits da Gantner Instruments.

Os digitalizadores, o concentrador de dados e os outros componentes estavam reunidos num sistema portátil para medição de vibrações ambiente – Vibambi – desenvolvido no Centro de Instrumentação Científica do LNEC. Utilizou-se ainda um computador portátil para a configuração e controlo do sistema e registo dos dados. Este equipamento estava instalado próximo do ponto objeto MC10.

A frequência de amostragem das observações GNSS foi configurada para 20 Hz, enquanto a frequência de amostragem para os acelerómetros foi de 250 Hz.

A monitorização do processo de atracação foi iniciada 15 minutos antes das manobras de aproximação e atracação do navio de cruzeiro, finalizando cerca de 15 minutos após a estabilização do navio ao quebramar. O estudo do processo de desatracação, em analogia ao processo de atracação, iniciou-se igualmente cerca de 15 minutos antes das manobras de desatracação se iniciarem, até aproximadamente 15 minutos após a saída efetiva do navio de cruzeiro. Com esta metodologia foram originados dois ficheiros de observação distintos, um para o processo da atracação e outro para o processo de desatracação.

Todo o processo foi coordenado conjuntamente com as autoridades portuárias as quais indicavam os horários das escalas de cada navio de cruzeiro essencial para a definição dos horários das campanhas.

#### **3.4.2.1 Resultados**

Os resultados obtidos e que se apresentam de seguida, demonstraram que nas campanhas de monitorização da atracação e desatracação de navios de cruzeiro, não foi possível identificar o impacto que esses processos têm sobre a superestrutura do quebramar utilizando o GNSS. Contudo esse impacto é verificado pelos acelerómetros.

Os resultados obtidos para as observações GNSS foram semelhantes às obtidas nas campanhas onde somente foram utilizados os recetores GNSS (secção 3.4.1), sendo contudo possível com esta metodologia de monitorização integrada procurar compatibilizar os dois métodos de recolha de dados: GNSS e acelerómetros.

A figura 3.14 apresenta as variações para cada uma das componentes x, y e z durante a atracação de 22 de fevereiro de 2012 para o ponto objeto MC10.

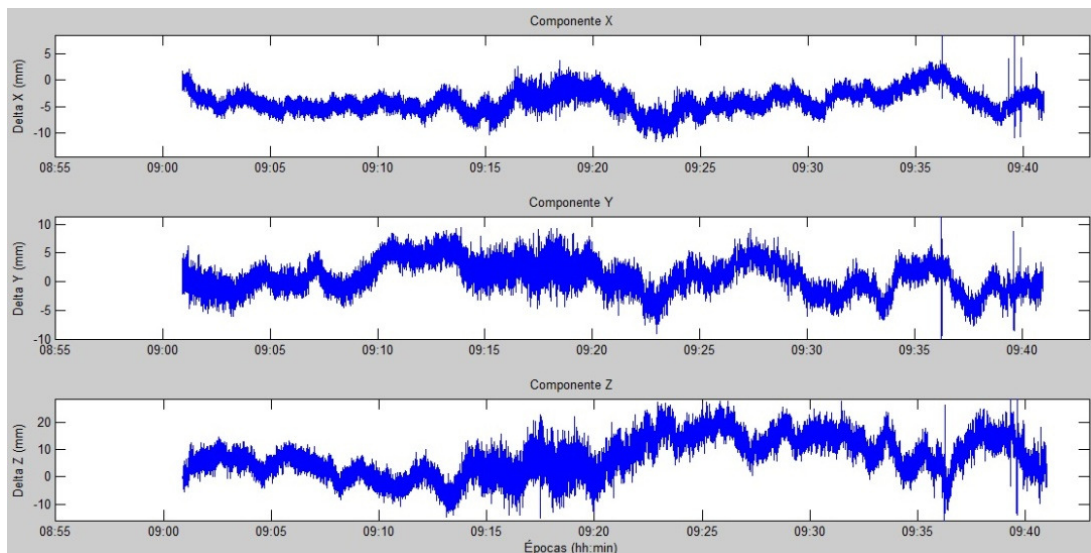


Figura 3.14 – Atracção. Variação das componentes x, y e z.

Os resultados obtidos com os acelerómetros foram processados através de uma rotina criada em MATLAB® (Anexo I), a qual permite a visualização dos resultados (figura 3.15). Analisando mais pormenorizadamente as acelerações medidas na componente horizontal (figura 3.16) pode-se identificar um padrão regular (com uma periodicidade aproximada de 7 s), resultado do impacto das ondas sobre o quebramar.

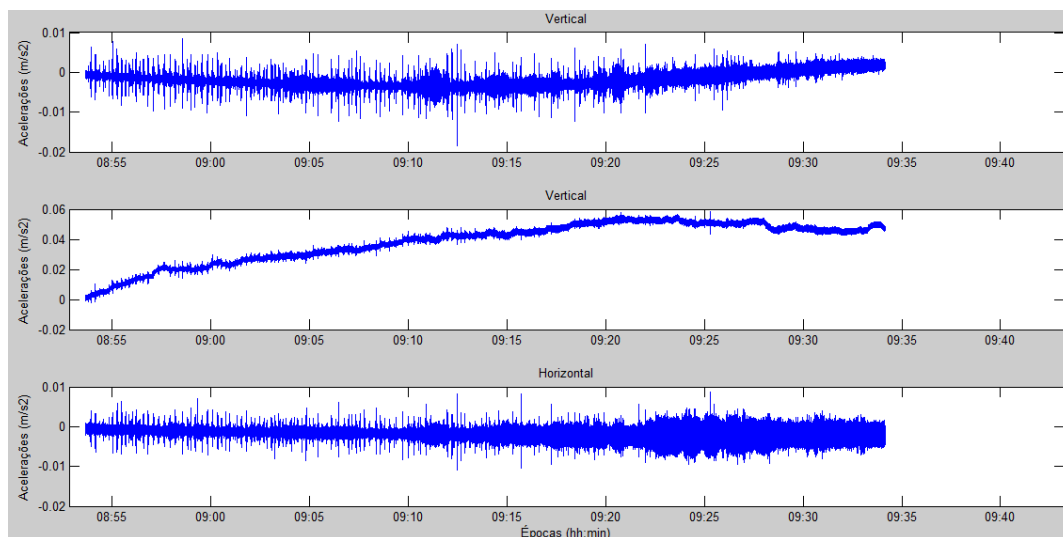


Figura 3.15 – Atracção. Acelerogramas.

De forma a analisar o sinal registado apresentado na figura 3.15, procurou-se através de uma análise de Fourier, algoritmo de grande eficiência computacional proposto por Cooley e Tuckey (1965), decompor o sinal nas correspondentes ondas. Assim, para analisar o efeito dos processos de atracção e desatracção na frequência de vibração natural do quebramar, cada período de registo (2400 s que corresponde a 40 minutos de

duração da campanha), foi dividido em seis intervalos. A finalidade dessa divisão foi procurar ter intervalos de análise mais curtos de modo a possibilitar uma análise mais fracionada dos resultados para tentar estudar o comportamento da infraestrutura com e sem navio de cruzeiro atracado.

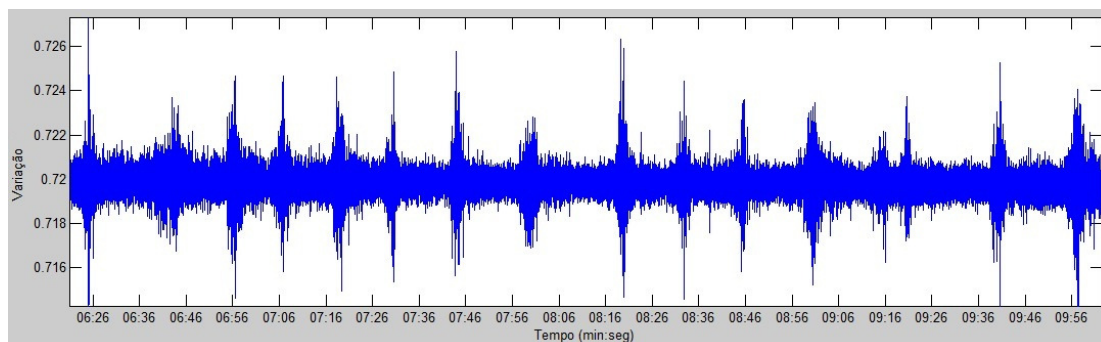


Figura 3.16 – Registo do acelerómetro da componente horizontal.

Usou-se a função FFT (Fast Fourier Transform) do MATLAB® (v. R2011a) para decompor o acelerograma medido em ondas e para calcular o espectro de amplitudes o que poderá permitir a identificação das frequências de vibração naturais da estrutura (Anexo J). Na figura 3.17 apresentam-se os espectros obtidos para os seis intervalos correspondentes ao processo de atracação: o primeiro gráfico, referente ao 1º intervalo, corresponde a uma fase em que o navio se encontrava muito longe do quebramar, do segundo ao quinto, intervalos identificados na figura do 2º ao 5º, à fase de atracação e o sexto gráfico, representante do intervalo nº 6, corresponde ao período em que o navio já tinha terminado as manobras de atracação.

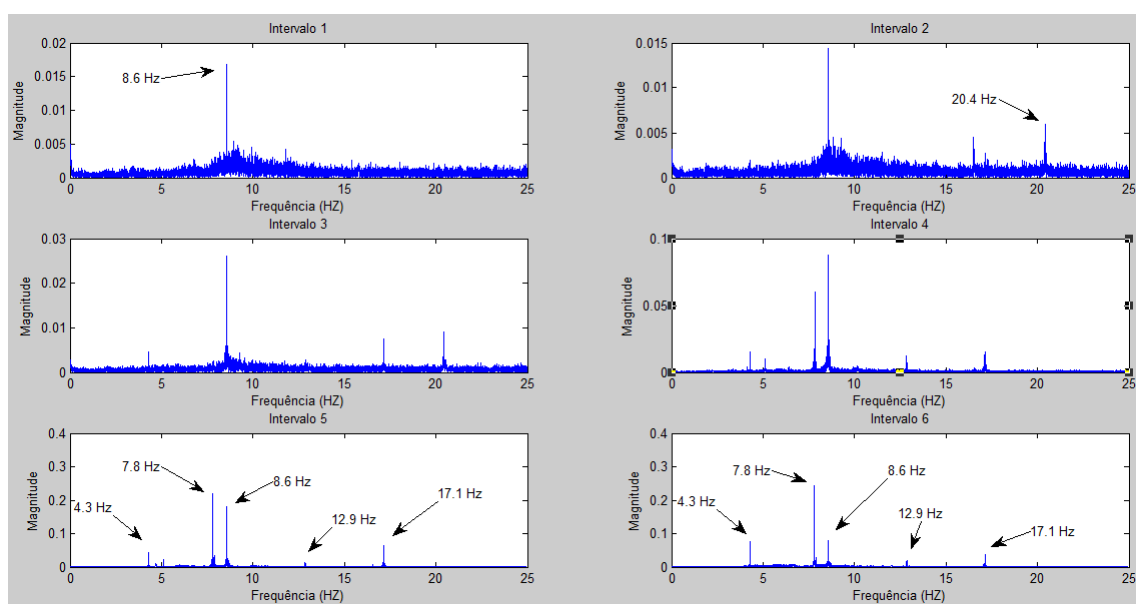


Figura 3.17 – FFT para o processo de atracação.

Nos gráficos apresentados na figura 3.17 é possível identificar alguns picos que poderão corresponder a algumas das frequências naturais de vibração da estrutura. A análise do primeiro espectro mostra que, de entre as várias ondas em que se decompõe o acelerograma medido, destaca-se claramente, pela sua maior amplitude, a onda correspondente à frequência natural de 8.6 Hz. Na análise dos espectros seguintes verifica-se que começam a aparecer outras ondas que correspondem a outras frequências naturais de vibração de onde se destacam: 4.3 Hz, 7.8 Hz, 8.6 Hz, 12.9 Hz, 17.1 Hz e 20.4 Hz.

Para o processo de desatracação verifica-se o inverso que se encontrou no processo de atracação para o mesmo dia e navio de cruzeiro. O primeiro gráfico da figura 3.18, identificado como intervalo 1, apresenta as mesmas frequências de vibração que representa enquanto o navio de cruzeiro se encontrava atracado ao quebramar, figura 3.16 intervalo 6, do segundo ao quinto intervalo representam o processo de desatracação, sendo o último intervalo, intervalo 6 representativo de quando o navio de cruzeiro já tinha finalizado a manobra de desatracação.

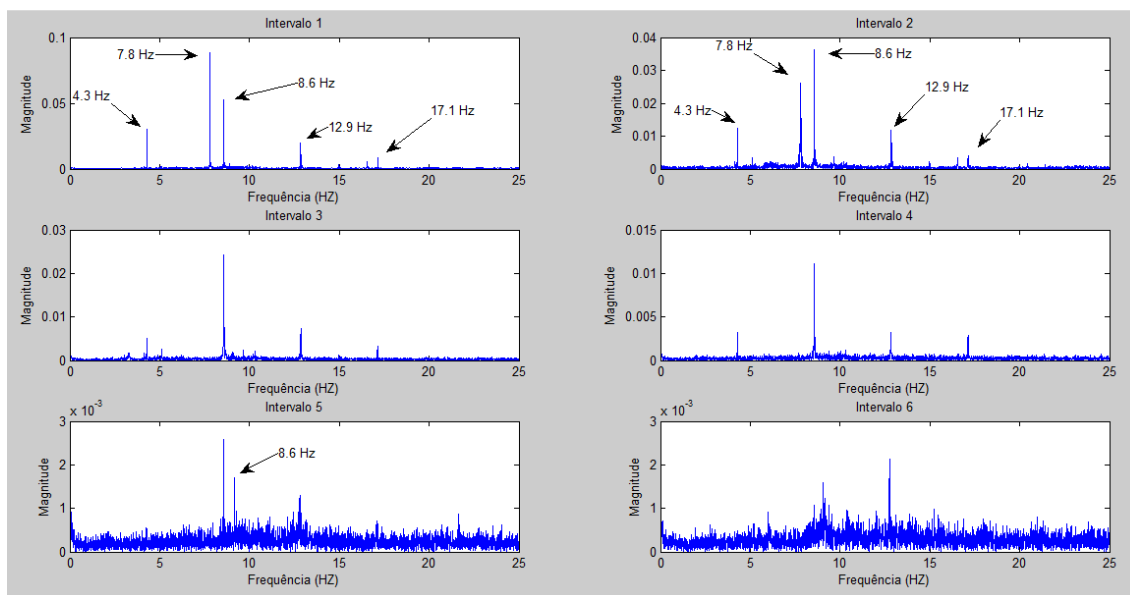


Figura 3.18 – FFT para o processo de desatracação.

Foram identificados picos nas mesmas frequências de vibração identificadas no processo de atracação: 4.3Hz, 7.8 Hz, 8.6 Hz, 12.9 Hz e 17.1 Hz, mas agora estes picos foram desaparecendo à medida que o navio de cruzeiro efetuava o processo de desatracação, em oposição ao que se verificou no processo de atracação, onde estas foram aparecendo à medida que o navio de cruzeiro completava as manobras, estando os gráficos quase alinhados de forma simétrica.



Se o quebramar sofrer uma deterioração significativa, a frequência destes picos pode-se alterar, podem nomeadamente decrescer com o aumento da deformabilidade da estrutura. Esta alteração pode acontecer de forma brusca, na sequência de uma tempestade, mas pode também ser um processo lento, resultante de alterações ao nível da fundação (por exemplo, infraescavações).

Os valores das posições encontradas para a época de observação de fevereiro de 2012 foram tomados como referência para a campanha de setembro.

Nas campanhas dos dias 7, 8 e 9 de setembro foram realizadas cinco campanhas de observação:

- 2 atracações;
- 2 desatracações e;
- 1 campanha sem navio de cruzeiro.

As figuras 3.19 e 3.20 apresentam as variações de amplitude para cada uma das componentes x, y e z durante as campanhas de desatracação de 7 e 8 de setembro de 2012 para o ponto objeto MC09, enquanto a figura 3.21 apresenta as variações de amplitude para cada uma das componentes x, y e z durante a campanha sem navio de cruzeiro de 9 de setembro de 2012 para o ponto objeto MC09 usando o GNSS.

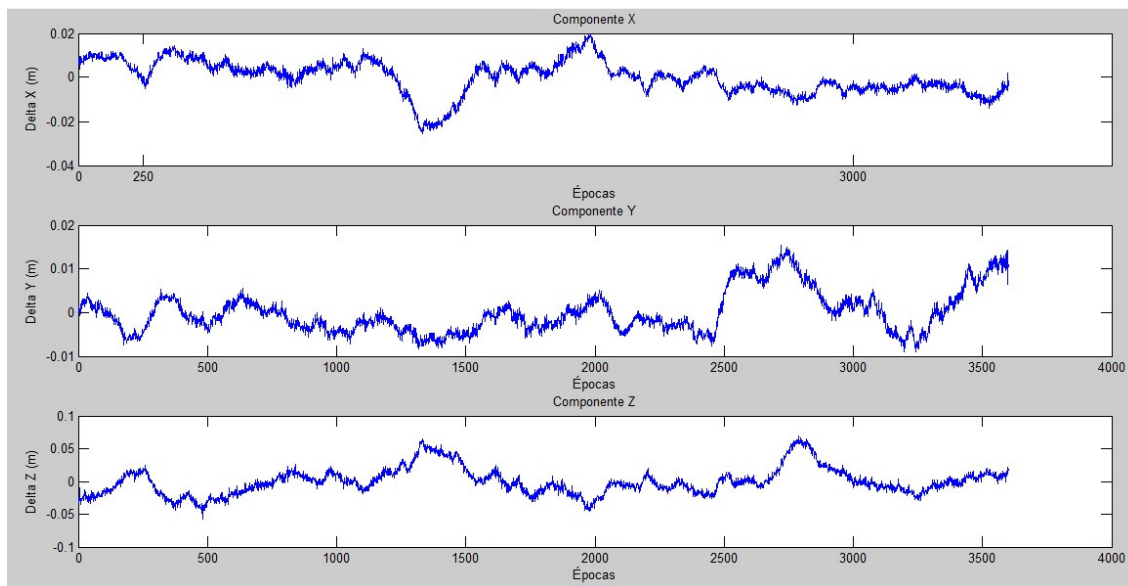


Figura 3.19 – Desatracação. Variação das componentes x, y e z do ponto objeto MC09 para a campanha do dia 7 de setembro de 2012.

As variações de amplitude para cada uma das campanhas foram respetivamente 0.0081m, 0.0043m e 0.0242m; 0.0078m, 0.0050m e 0.0221m; e 0.0063m, 0.0063 e 0.0203m.

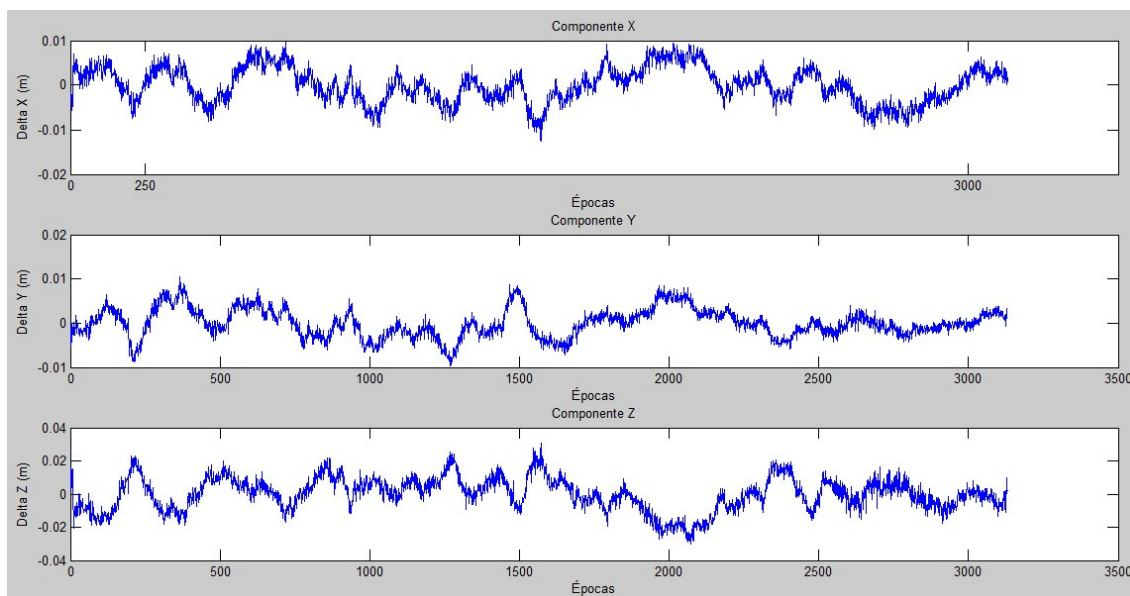


Figura 3.20 – Desatracção. Variação das componentes x, y e z do ponto objeto MC09 para a campanha do dia 8 de setembro de 2012.

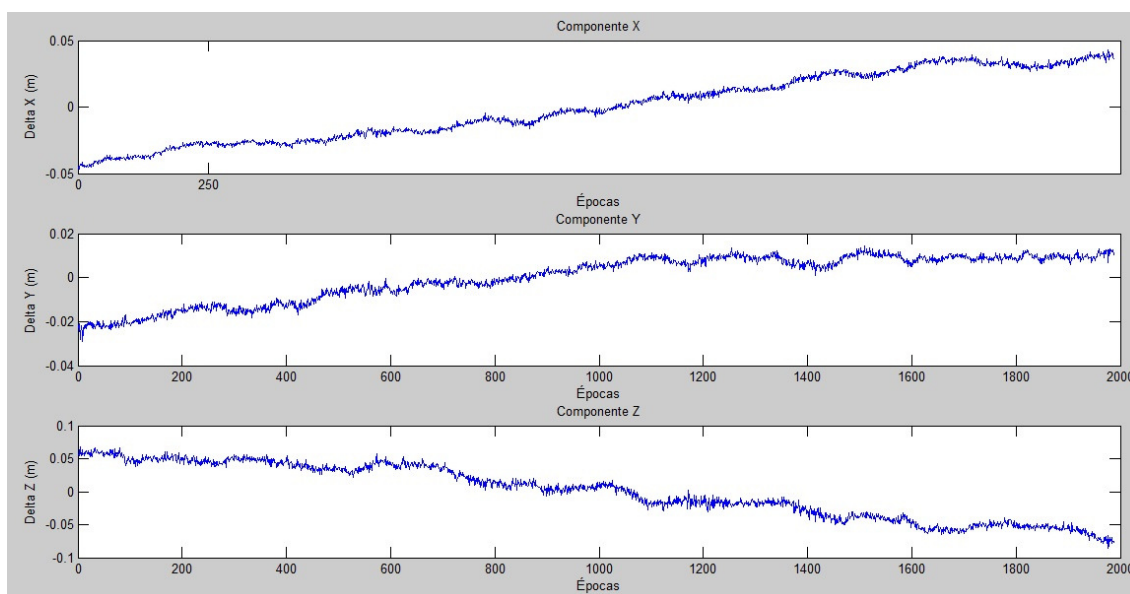


Figura 3.21 – Sem navio. Variação das componentes x, y e z do ponto objeto MC09 para a campanha do dia 9 de setembro de 2012.

Os resultados encontrados para a atracação no ponto objeto MC09, bem como os resultados da atracação e desatracação das 3 campanhas para o ponto objeto MC10 são consistentes com os apresentados para o ponto objeto MC09, sendo estes apresentados no Anexo K.

No caso dos acelerómetros, os resultados obtidos foram idênticos aos obtidos na campanha de fevereiro, não sendo no entanto verificado o padrão regular da agitação

marítima (figura 3.22 e figura 3.23) uma vez que esta era quase inexistente. Segundo os dados de agitação marítima disponibilizados no endereço de internet do Instituto Hidrográfico (IH) ([www.hidrografico.pt](http://www.hidrografico.pt)) a altura significativa de onda durante a campanha de fevereiro era de 4.0 m e nas campanhas de setembro foi de 1.5 m.

Nas figuras 3.22 e 3.23, são identificados alguns picos de acelerações aquando dos processos de atracação dos dias 7 e 8 de setembro de 2012 evidenciando o impacto do navio de cruzeiro sobre o quebramar. As figuras 3.24 e 3.25 apresentam as variações em cada uma das componentes x, y e z recolhidas com o GNSS para os mesmos períodos, não sendo identificada nenhuma variação significativa para caracterizar o impacto do navio sobre o quebramar. Os eixos dos x estão expressos em horas e minutos para melhor comparação entre as duas técnicas utilizadas.

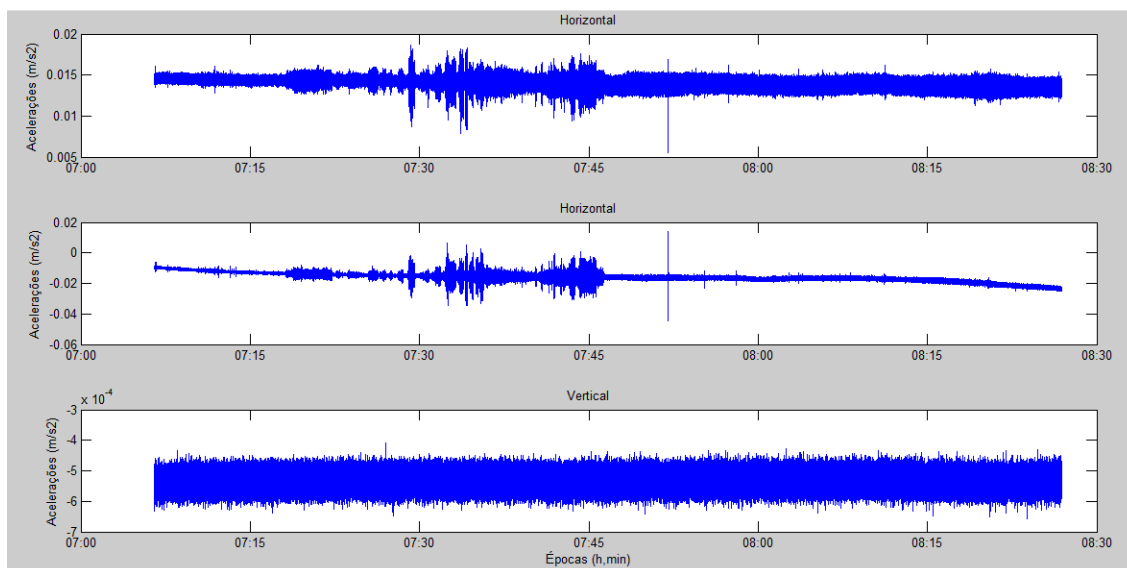


Figura 3.22 – Acelerogramas. Atracação de 7 de setembro de 2012.

De modo a comprovar essas frequências naturais de vibração do quebramar, foi aplicado o mesmo procedimento às campanhas realizadas em setembro de 2012.

A figura 3.26 apresenta os resultados encontrados para o dia 8 de setembro de 2012.

Foram identificadas as mesmas frequências de vibração identificadas na campanha de fevereiro: 4.3 Hz, 8.6 Hz, 12.9 Hz e 17.2 Hz e 21.5 Hz.

Para as campanhas de setembro e uma vez que a frequência de amostragem GNSS foi fixada em 20 Hz, aplicou-se a estes também a mesma metodologia para o cálculo das frequências naturais de vibração até aos 10 Hz (metade do valor de observação) (figura 3.27) com o intuito de encontrar as mesmas frequências de vibração até aos 10 Hz identificadas pelos acelerómetros. Essa constatação não foi verificada.

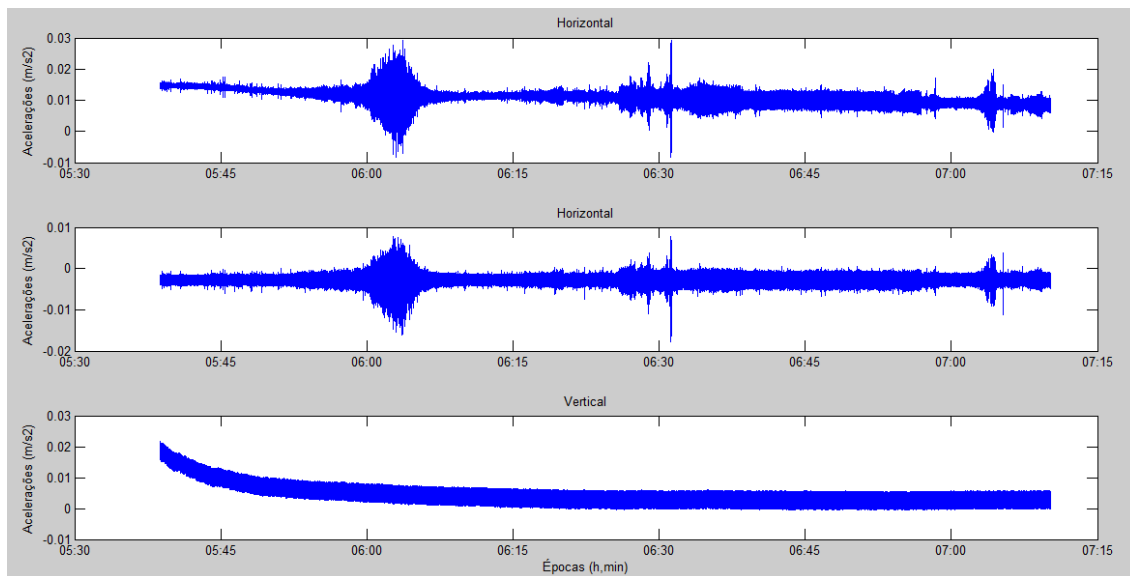


Figura 3.23 – Acelerogramas. Atracção de 8 de setembro de 2012.

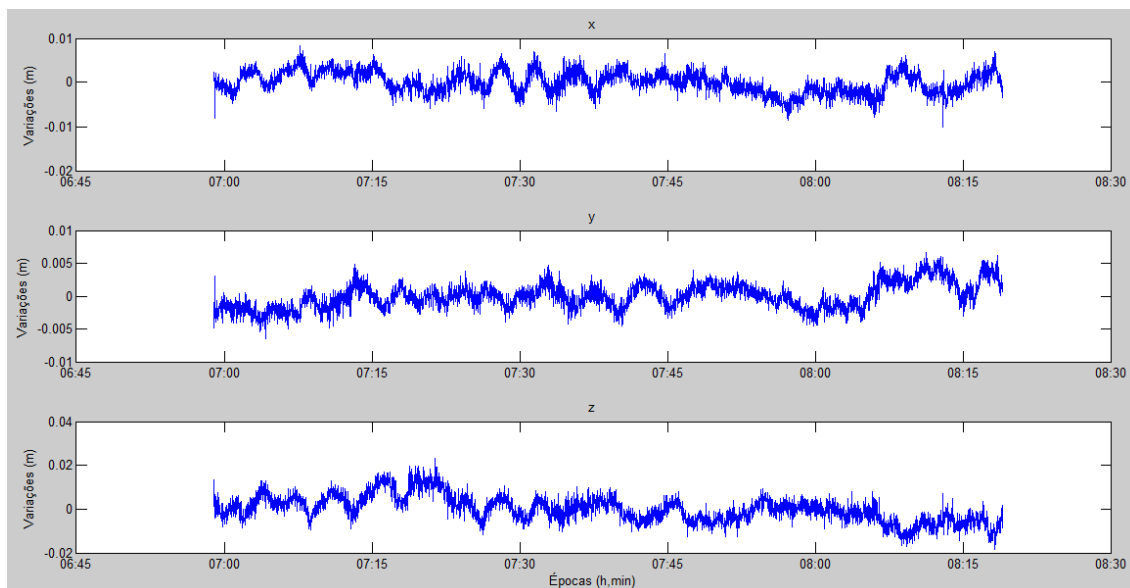


Figura 3.24 – GNSS. Atracção de 7 de setembro de 2012.

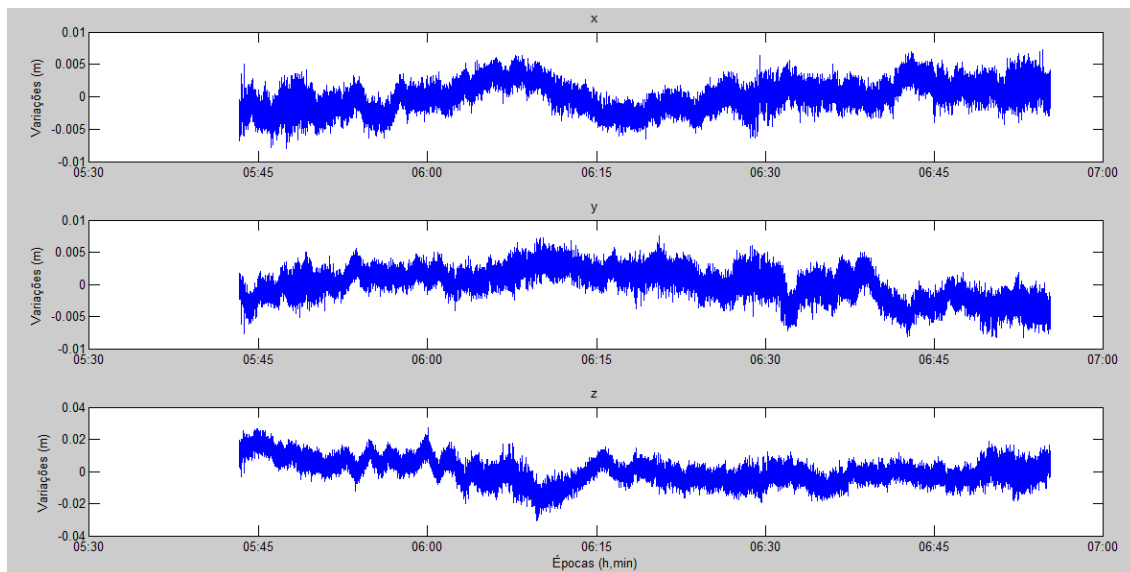


Figura 3.25 – GNSS. Atracção de 8 de setembro de 2012.

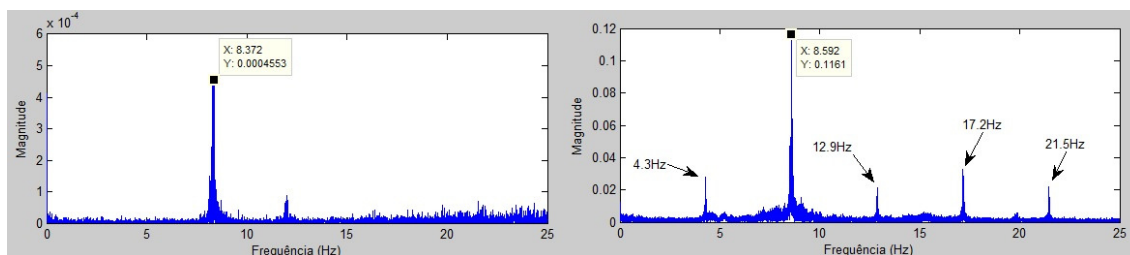


Figura 3.26 – FFT para o processo de atracção de 8 de setembro de 2012.

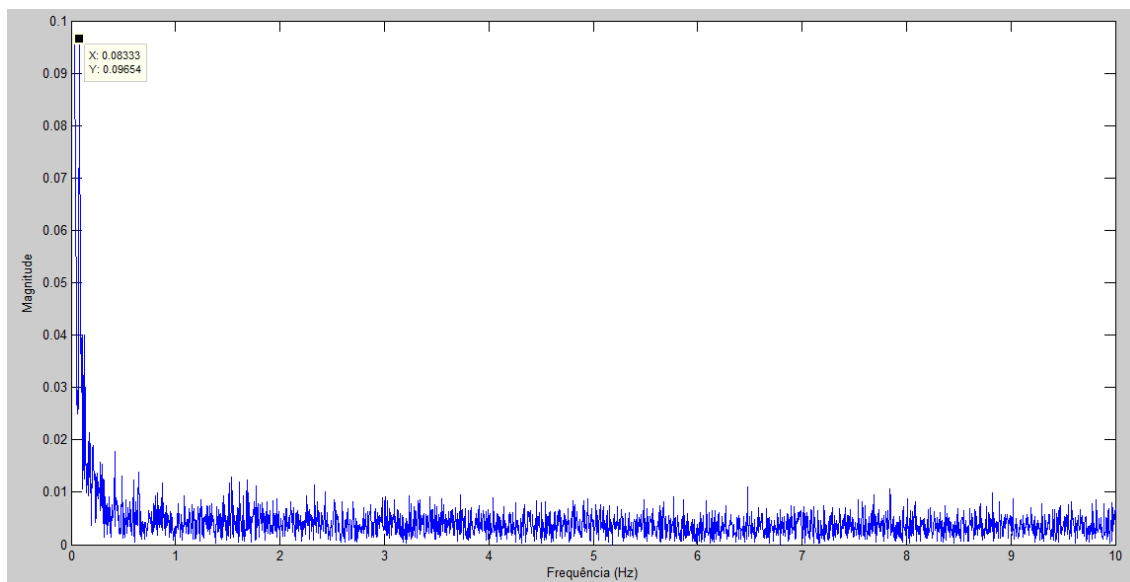


Figura 3.27 - FFT para o processo de atracção de 7 de setembro de 2012 (GNSS).

Os restantes gráficos e resultados são apresentados no Anexo L.

### **3.5 Sistema de Monitorização dos Movimentos Macro dos Tetrápodes (MMT)**

Os tetrápodes têm como principal objetivo proteger o quebramar dos impactos diretos da agitação marítima, sendo expectável que ao longo do tempo ocorram alterações na sua posição, resultado de ajustamentos entre várias posições de equilíbrio, maiores ou menores, dependendo da intensidade da agitação marítima incidente e da estabilidade das componentes estruturais da fundação (secção 4.3).

A MMT destina-se a acompanhar a evolução da posição dos tetrápodes ao longo do tempo, utilizando para isso técnicas clássicas de topografia.

Procurou-se identificar quais as zonas de incidência da agitação mais violenta, relacionando-a com as alterações (fendas e movimento de juntas) encontradas diretamente na superestrutura.

A rede de monitorização foi composta por 55 pontos objeto demarcados sobre os tetrápodes subdivididos por três zonas de impacto, e oito pontos estação distribuídos pelas mesmas três zonas, de acordo com as necessidades de visibilidade direta entre ambos, já discutido na secção 2.3.1.

As variações posicionais planimétricas e altimétricas foram determinadas através da medição de ângulos horizontais e ângulos verticais, respetivamente, entre dois pontos de estação de coordenadas conhecidas e os pontos objeto. Os trabalhos foram realizados utilizando uma estação total Leica TPS1200.

#### **3.5.1 Resultados**

Foram realizadas 4 campanhas de observação ao longo de um período de dez meses. As campanhas foram realizadas entre junho de 2010 e março de 2011.

Durante as campanhas foram observados os pontos objeto sinalizados nos tetrápodes, medindo os ângulos horizontais e verticais entre ambas as estações e os tetrápodes segundo a metodologia descrita na secção 2.3.1.

As tabelas 3.19, 3.20 e 3.21 apresentam os resultados para as épocas de observação realizadas para os pontos objeto PC13, PC33 e PC55, a título exemplificativo. Cada um destes representa o tetrápode que sofreu o deslocamento máximo, em valor absoluto, para cada um dos três grupos definidos. Os restantes resultados das campanhas para a MMT são apresentados no Anexo M.

Época	x (m)	y (m)	z (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\Delta D$ (m)
Inicial	29.921	10.655	3.863				
23Junho2010	29.915	10.657	3.855	0.006	0.002	0.008	0.010
10Dezembro2010	30.165	10.468	3.740	0.244	0.187	0.123	0.331
07Janeiro2011	30.171	10.470	3.728	0.250	0.185	0.135	0.339
22Março2011	30.173	10.474	3.722	0.252	0.181	0.141	0.341

Tabela 3.19 – Épocas de observação do PC13 pertencente ao grupo 1.

Época	x (m)	y (m)	z (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\Delta D$ (m)
Inicial	148.627	12.151	3.183				
23Junho2010	148.623	12.155	3.183	0.005	0.004	0.000	0.006
10Dezembro2010	148.637	12.141	3.172	0.010	0.010	0.011	0.018
07Janeiro2011	148.627	12.145	3.165	0.000	0.006	0.018	0.019
22Março2011	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 3.20 – Épocas de observação do PC33 pertencente ao grupo 2.

Época	x (m)	y (m)	z (m)	$\Delta x$ (m)	$\Delta y$ (m)	$\Delta z$ (m)	$\Delta D$ (m)
Inicial	268.51	8.917	2.301				
23Junho2010	271.48	7.122	1.902	2.976	1.795	0.399	3.498
10Dezembro2010	271.48	7.109	1.890	2.969	1.808	0.411	3.500
07Janeiro2011	271.48	7.117	1.889	2.970	1.800	0.412	3.497
22Março2011	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 3.21 – Épocas de observação do PC55 pertencente ao grupo 3.

O PC33 não foi observado na campanha de 22 de março de 2011 porque a marcação existente sobre o tetrápode desapareceu.

O PC55 não foi igualmente observado na campanha de 22 de março de 2011 porque a marcação existente no tetrápode ficou em zona de sombra perdendo-se a linha de visada entre o ponto objeto e o ponto estação, concluindo-se que existiu um novo deslocamento do tetrápode em questão, mas que não foi possível de quantificar.

A perda de linha de visada entre os pontos objeto demarcados sobre os tetrápodes e o ponto estação, juntamente com o desaparecimento de algumas das marcações existentes limitaram o número de campanhas de observação para este sistema de monitorização, sendo esses dois fatores preponderantes para a definição do número de campanhas (apenas quatro).

Os valores apresentados para os  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta z$  nas tabelas 3.19, 3.20 e 3.21 são os valores absolutos das diferenças encontradas entre cada uma das épocas de monitorização e a

época de referência, uma vez que é indiferente a direção da variação, é somente relevante para este caso de estudo o valor absoluto do deslocamento.

O valor de  $\Delta D$  é representativo do deslocamento efetivo verificado entre a época de referência e cada uma das épocas de monitorização consideradas.

Os resultados apresentados nas tabelas 3.19, 3.20 e 3.21 são representativos de todos os pontos objeto demarcados sobre os tetrápodes monitorizados, pertencentes ao manto exposto de tetrápodes do quebramar abrangido pela MMT, evidenciando que ao longo do tempo de monitorização, os pontos objeto sobre os tetrápodes, sofreram, na sua globalidade, variações significativas que variaram de alguns centímetros a alguns metros.

### **3.6 Análise Resultados**

Realizadas as diferentes campanhas de observação *in situ*, recolhidos, tratados e analisados os dados para cada um dos sistemas de monitorização pertencentes às campanhas de monitorização estrutural do quebramar do porto do Funchal, foram interpretados os resultados obtidos.

Foram realizadas dez campanhas da MEQ, concluindo-se que para cada um dos pontos objeto (à exceção do MC01), não foram identificadas variações significativas das suas coordenadas. As variações de coordenadas, entre épocas, encontradas para cada um dos pontos objeto encontravam-se dentro dos valores tomados à partida como balizador das hipotéticas diferenças que se obteriam, inerentes à metodologia de observação GNSS definida para o sistema.

Para o ponto objeto MC01 não foi possível retirar conclusões, pois os resultados obtidos em cada uma das campanhas não eram consistentes, verificando-se variações aleatórias devidas provavelmente a erros de observação. Encontraram-se grandes variações nas coordenadas para cada uma das componentes x, y e z relativamente à época inicial de referência, devendo-se hipoteticamente à sua proximidade do farol de entrada no porto implicando obstrução dos sinais GNSS recebidos e multicaminho. As variações não tinham um padrão, verificando-se variações de grande amplitude, que a ocorrer implicaria que a estrutura tinha um comportamento semelhante a uma mola distendendo-se e comprimindo de seguida, o que na realidade não se verifica. Para despistar as razões que influenciavam os resultados tornava-se necessário o



desenvolvimento de uma técnica própria para o efeito. Essa técnica não foi desenvolvida uma vez que saía do âmbito dos estudos que se estavam a levar a cabo, sendo mesmo uma área específica do GNSS em que existem diversos trabalhos científicos para mitigar esse tipo de erro, aliado ao facto da metodologia de monitorização definida através de campanhas pontuais escolhida para este tipo de sistema de monitorização procurar implementar uma metodologia simples e de aplicabilidade geral a todos os utilizadores dos GNSS transversalmente.

Para os restantes pontos objeto sobre a superestrutura do quebramar verificou-se que a taxa de variação durante o período em que se prolongou as campanhas de monitorização estava dentro dos valores definidos.

Conclui-se assim que os pontos objeto monitorizados sobre a superestrutura do quebramar apesar das alterações amplamente visíveis, não sofreram um grau de evolução suficientemente significativo para ter sido detetado no período de observação referido.

Sendo um sistema robusto, no sentido de que os pontos estão materializados de forma a resistir a condições atmosféricas e de ondulação adversas, sempre que ocorrerem eventos que se possam considerar como suficientemente significativos (tempestades ou acidentes nas atracções e desatracções de navios de cruzeiro), estes podem continuar a ser monitorizados pela metodologia descrita de modo a verificar-se se ocorrem alterações nas coordenadas de cada um dos pontos objeto materializados. As alterações identificadas estão a evoluir lentamente, não evidenciando um cariz de urgência que aparentemente se denotava à partida.

Deverá adotar-se uma metodologia de monitorização continuada no tempo que permita a continuação da monitorização da superestrutura do quebramar do porto do Funchal, não se descorando a particular atenção que este merece.

Para a MAD foram realizadas campanhas de monitorização GNSS e campanhas de monitorização conjuntas GNSS e acelerómetros. Nas campanhas GNSS foram identificadas amplitudes de variações significativas nas três componentes ao longo de todo o processo. Essas variações não foram identificadas pela ação da atracção ou desatracção do navio de cruzeiro, mas sim durante toda a monitorização. As variações mostraram ser de amplitude inferior na componente y, sendo a componente paralela à atracção e desatracção de navios de cruzeiro a qual deveria sofrer uma maior variação. Os valores encontrados foram da ordem dos 2cm, facto não comprovado nas

campanhas da MEQ. A perda de sinal GNSS ou o multicaminho estariam na base das variações encontradas pela “parede” criada pelo próprio navio de cruzeiro.

Procurou-se confirmar que essas perturbações identificadas eram devidas à ação do navio de cruzeiro a atracar ou desatracar, sendo necessário despistar outras causas como a perda de captação de sinal e/ou o multicaminho.

Tendo isso em consideração, foi desenvolvida uma metodologia integrada GNSS e acelerómetros procurando compatibilizar e correlacionar os resultados obtidos pelas duas técnicas distintas e desse modo dar consistência aos resultados obtidos.

Nas campanhas com os acelerómetros dos dias 7 e 8 de setembro de 2012 foi possível identificar algumas acelerações significativas aquando dos processos de atracação. O mesmo não foi verificado nos processos de desatracação correspondentes. Admite-se que estes se devem ao facto dos impactos dos navios de cruzeiro sobre o quebramar nos processos de atracação ser mais exigente. Esta comprovação não é verificada pelo GNSS uma vez que não é possível identificar no domínio do tempo nenhuma correlação identificativa de deslocamentos correspondentes com os mesmos períodos em que se identificaram as acelerações. As variações encontradas nas campanhas GNSS têm magnitude constante ao longo de toda a campanha.

Verifica-se assim, que as perturbações identificadas estão correlacionadas com a atracação e desatracação dos navios de cruzeiro, contudo nada mais se pode acrescentar quanto à sua magnitude, pois seriam necessárias mais campanhas de observação.

As frequências naturais de vibração do quebramar verificaram-se inalteradas entre a campanha de fevereiro e as campanhas de setembro de 2012, concluindo-se que não ocorreram alterações internas dos materiais e camadas do perfil constituinte do quebramar do porto do Funchal. A análise relativa às frequências naturais de vibração do quebramar e os impactos da agitação marítima e processos de atracação e desatracação na superestrutura são aprofundados nos capítulos relativos aos modelos físico e numérico.

Para a MMT foram realizadas cinco campanhas de monitorização distintas, uma de definição da época inicial de referência, e as restantes quatro como épocas de monitorização para comparação. Em cada uma das épocas de monitorização subsequentes à época de referência, verificou-se que para cada um dos subconjuntos de tetrápodes existiam variações das posições de alguns deles. Essas variações ocorreram em várias direções e sentidos e não em nenhuma direção particular, isto é, uma vez que os tetrápodes se encontram encaixados entre eles ocupando posições de equilíbrio, estes

quando saem da sua posição de estabilidade “descaem” em qualquer direção até estabilizarem numa outra posição de equilíbrio. Esse tipo de variações é aleatório e de caracterização relativa.

As variações encontradas tinham amplitudes significativas distintas entre os que sofreram variações nas suas posições de referência, variando de alguns centímetros até alguns metros. Concluindo-se que a ação marítima é bastante intensa sobre o manto exposto de tetrápodes do quebramar, sendo este de extrema importância na defesa dos impactos diretos da agitação marítima sobre o quebramar. A deterioração desta camada de defesa poderá implicar uma deficiente proteção do quebramar em relação aos impactos diretos da agitação marítima, sendo no caso de estudo, um dos principais fatores responsável pelas alterações encontradas e identificadas. Esta análise é aprofundada no capítulo relativo ao modelo físico.

As campanhas de monitorização estrutural demonstraram a estabilidade relativa do quebramar, caracterizando-se por uma evolução reduzida das evidências encontradas que indicavam a fragilidade do quebramar.

### **3.7 Considerações Finais**

Neste capítulo foram descritas as campanhas de monitorização estrutural, descrevendo-se todas as campanhas e resultados obtidos para cada um dos sistemas de monitorização.

Descreveram-se as metodologias, técnicas e equipamentos utilizados para cada um dos sistemas de monitorização estrutural do quebramar; os métodos; os dados recolhidos e os principais resultados encontrados durante o período de monitorização para cada um dos sistemas.

A caracterização das épocas de referência foram definidas de forma a existir uma época de comparação a partir da qual se considerou o início dos sistemas de monitorização e que serviu de base de comparação para as épocas subsequentes.

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que o quebramar do porto do Funchal estava estável durante o período de tempo em que se desenrolaram as campanhas *in situ*, não se verificando variações nas suas coordenadas absolutas. Pela análise comparativa das frequências naturais de vibração do quebramar entre as campanhas de fevereiro e de setembro de 2012, verificou-se que estas não foram alteradas implicando que não

ocorreu nenhum fenómeno de deterioração dos materiais e camadas internas do quebramar. Conclui-se igualmente que os navios de cruzeiro no processo de atracação aplicam uma ação sobre o quebramar, no entanto de magnitude e deslocamentos não possíveis de quantificar.

## Capítulo 4

### Modelo Físico do Quebramar do Porto do Funchal

#### 4.1 Considerações Iniciais

Um modelo físico é uma representação aproximada, do todo ou parte, de algo que existe ou existirá na realidade e que se pretende representar de forma reduzida ou amplificada com a finalidade de recolher informação útil relativa ao objeto de estudo, proporcionando uma compreensão mais alargada sobre o mesmo.

Os modelos físicos são utilizados como elementos orientadores muitas das vezes para a própria definição em projeto das características das infraestruturas, bem como *à posteriori* para estudar e procurar compreender as condições existentes e daí aplicar ajustamentos que se considerem fundamentais para a salvaguarda ou melhor desempenho dessas infraestruturas.

Os modelos físicos são igualmente utilizados como complemento aos modelos matemáticos ou numéricos, ou até em conjunto, sendo que muitas das vezes são utilizados como ferramenta essencial para a calibração desses modelos. Os modelos físicos podem ser bidimensionais ou tridimensionais dependendo do objetivo do estudo. São diversas as potencialidades e limitações dos estudos realizados sobre ensaios em modelos físicos reduzidos para qualquer tipo de análise ou elemento que se queira aprofundar. São ferramentas de simulação fundamentais para a compreensão geral de qualquer tipo de infraestrutura, possibilitando a aplicação de cenários reais e consequentes respostas para as diversas condições limite que se queiram simular.

Estes modelos, devido à sua redução ou ampliação de escala, permitem a execução de diversos testes e a criação de cenários, possibilitando o retorno às suas condições iniciais, caso necessário, garantindo uma análise num espaço de tempo mais reduzido e em modo contínuo. As suas principais limitações prendem-se com a identificação e quantificação dos efeitos de escala e de laboratório. No entanto, estes efeitos são possíveis de quantificar ou de mitigar (Silva, 2010).

Neste capítulo descreve-se a metodologia adotada e os trabalhos desenvolvidos sobre o modelo físico reduzido do quebramar do porto do Funchal com o objetivo de compreender o comportamento e evolução morfológica das diversas camadas constituintes do quebramar desde a sua base à superestrutura, identificando as hipotéticas ações e fatores externos que potenciam a sua evolução, de forma a tentar identificar as principais razões ou conjunto de razões para as deteriorações encontradas na superestrutura do quebramar do porto do Funchal, já referidas no capítulo 2. Na secção 4.2 são descritas as instalações experimentais nas quais os trabalhos sobre o modelo físico foram desenvolvidos, os equipamentos utilizados e suas características, e o *software* usado para a recolha e tratamento dos dados hidrodinâmicos. Na secção 4.3 são descritos os processos da escolha e separação dos materiais, a montagem do modelo e a definição da escala do modelo. Na secção 4.4 são abordados o sistema de geração de ondas e o sistema de aquisição de dados referindo-se as características de cada um e os dados recolhidos. Na secção 4.5 são discutidos os efeitos de escala e os efeitos de laboratório de modo a comprovar a sua interferência no objeto de estudo. Na secção 4.6 são apresentadas as condições de teste para os diferentes cenários que se pretendem simular, associados a diferentes períodos de retorno escolhidos. Na secção 4.7 são descritos os ensaios realizados e na secção 4.8 são apresentados os resultados obtidos, apresentando-se as principais conclusões para cada um dos períodos de retorno analisados.

Por fim, na secção 4.9 são efetuadas algumas considerações finais relativamente ao capítulo, bem como uma análise sumária das potencialidades e limitações deste tipo de estudo e recomendações para trabalhos futuros.

## **4.2 Instalações Experimentais, Equipamentos e *Software***

Os testes sobre o modelo físico reduzido do quebramar do porto do Funchal foram realizados no tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (LH-SHRHA-DEC-FEUP).

O tanque de ondas tem 28 metros de comprimento, 12 metros de largura e 1.3 metros de profundidade. Está dotado de um sistema de geração de agitação do tipo pistão e tem uma sala de controlo com os equipamentos de geração, recolha e análise de dados.

O sistema de geração de agitação (figura 4.1) é um sistema HR Wallingford do tipo pistão, multi-elemento composto por 16 pás revestidas por fibra de vidro com 75 centímetros de largura cada. São separadas em conjunto de 8 pás controladas autonomamente por duas unidades modulares distintas e um sistema ativo de absorção de reflexão de forma a eliminar as interferências que existam aquando da geração da agitação.



Figura 4.1 – Sistema de geração de agitação – Módulo de pás.

A possibilidade de configuração de movimentos autónomos em cada uma das pás constituintes do sistema de geração de ondas permite a geração de vários tipos de agitação. O facto de cada uma das pás poder ser movimentada individualmente ou em conjunto de forma uniforme, deve-se à montagem do sistema de geração de ondas em que cada uma das pás tem um motor elétrico dedicado que lhe permite oscilações independente das pás vizinhas (figura 4.2).

O sistema de controlo permite a monitorização em tempo real das variáveis típicas de monitorização como sejam a velocidade do motor, temperatura atual e corrente. A força máxima a aplicar às pás, a velocidade e distensão são respetivamente 1.5 kN,  $0.87 \text{ ms}^{-1}$  e 1.08 m (manual do fabricante citado por Ramos, (2009)).

O sistema é monitorizado/controlado na sala de controlo em dois terminais que gerem todo o sistema associado aos ensaios, como se mostra na figura 4.3.

Os *software* utilizados foram o *HR Wave Generation* para o Sistema de Geração de Agitação e o *HR-DAQ-Data Acquisition and Analysis Software Program* para a recolha e análise de dados (ver secção 4.4).



Figura 4.2 – Pás, motores e distensões independentes.



Figura 4.3 – Sistema de controlo de geração de agitação e sistema de controlo de aquisição de dados.

Dos equipamentos utilizados faziam igualmente parte, para a medição das alturas de ondas geradas pelo sistema de agitação, sondas hidrodinâmicas cuja finalidade era medir as alturas de ondas que entravam efetivamente no canal orientador e alcançavam o modelo.

Como já foi referido anteriormente, os testes tiveram como principal objetivo simular as condições limite para períodos de retorno bem definidos, procurando compreender o



comportamento da infraestrutura ao longo dos ensaios e as correspondentes fragilidades demonstradas, e consequentemente, fazer o paralelismo com o protótipo.

Período de retorno, é por definição, o intervalo de tempo em relação ao qual estatisticamente um determinado acontecimento é igualado ou excedido pelo menos uma vez. Esta definição pressupõe que o sistema manterá estatísticas semelhantes às do passado, significando que em cenários de alterações climáticas ou alterações antropogénicas, os valores associados a um determinado período de retorno podem sofrer alterações.

Segundo Ramos (2009), os períodos de retorno, altura máxima e altura significativa de onda para o porto do Funchal, e que serviriam de base aos trabalhos desenvolvidos são os apresentados na tabela 4.1.

Período de Retorno (anos)	Hmax (m)	Hs (m)
5	9.38	5.31
10	10.66	6.03
15	11.37	6.43
20	11.87	6.72
25	12.26	6.93
30	12.58	7.11
50	13.45	7.61
75	14.14	8.00
100	14.63	8.28

Tabela 4.1 – Altura máxima (Hmax) e altura significativa de onda (Hs) para cada um dos períodos de retorno (Ramos, 2009).

#### **4.3 Seleção da Escala, Escolha e Separação de Materiais e Construção do Modelo**

O modelo foi construído de acordo com o perfil tipo do quebramar do porto do Funchal obtido a partir das telas finais entregues pelo construtor (figura 4.4) à APRAM.

O quebramar do porto do Funchal é um quebramar de estrutura mista (manto em taludes exterior de proteção, paramento interior de acostagem) com uma superestrutura com cortina defletora e um manto exposto protegido com tetrápodes. Tem cerca de 1100 m de comprimento.

Os fundos de implantação são variáveis e atingem os -30 m, enquanto o topo da crista da superestrutura se situa a cerca de 11 m de altura, ambos referidos ao ZH.

O perfil é composto por várias camadas de materiais, como é ilustrado na figura 4.4.

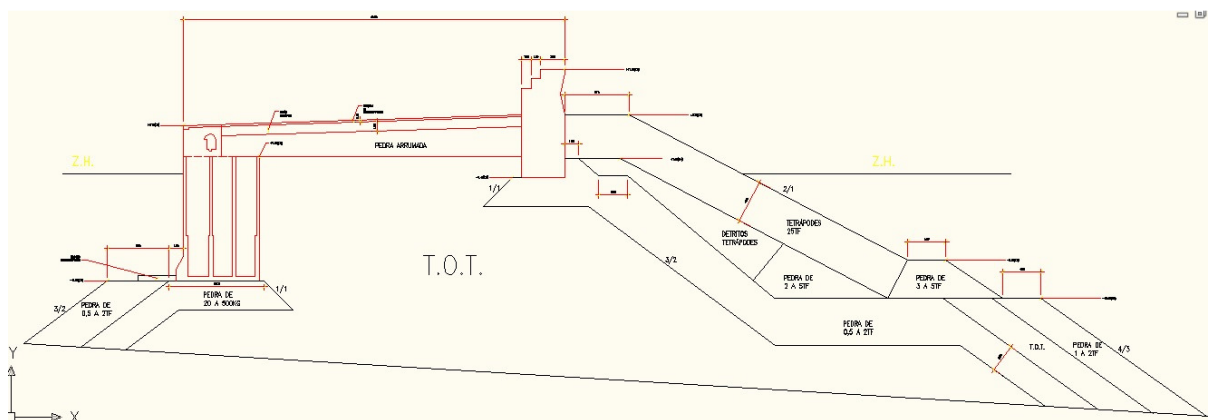


Figura 4.4 – Perfil tipo do quebramar do porto do Funchal.

No Anexo N é apresentado em detalhe a figura 4.4.

#### 4.3.1 Definição da Escala

A escala geométrica escolhida para o modelo físico reduzido do quebramar foi definida de acordo com as condicionantes existentes à partida. A escala foi definida de acordo com as dimensões dos moldes de blocos já existentes no laboratório, e que pudessem ser reutilizados de outros ensaios anteriores, de modo a otimizar os recursos existentes e possibilitar a poupança de tempo e recursos financeiros.

Dos materiais necessários para a construção do modelo, eram os tetrápodes que condicionariam a escala do modelo uma vez que eram o material mais escasso e mais difícil de fabricar.

Uma vez que os tetrápodes disponíveis para o modelo tinham 156.6 gramas e os tetrápodes no protótipo 25 tf, pelas equações (4.1) a (4.4) obteve-se a escala geométrica. Seja:

$$\lambda_W = \lambda_\gamma * \lambda_l^3 \quad (4.1)$$

se considerar  $\lambda_\gamma = 1$ , te-se-á:

$$\lambda_W = \lambda_l^3 \quad (4.2)$$

logo:

$$\lambda_W = \lambda_l^3 = \frac{0.1566}{25000} = \frac{1}{159642.4} \Rightarrow \lambda_l = \frac{1}{54.25} \quad (4.3)$$

e

$$\lambda_t = \sqrt{\lambda_l} = 7.365 \quad (4.4)$$

onde,

$\lambda_W \rightarrow$  Escala dos Pesos

$\lambda_\gamma \rightarrow$  Escala dos Pesos Volúmicos do Material

$\lambda_l \rightarrow$  Escala dos Comprimentos

$\lambda_t \rightarrow$  Escala dos Tempos

Assim, a escala de comprimentos e a escala de tempos são 1:54.25 e 1:7.365 respetivamente.

### 4.3.2 Escolha e Separação de Materiais

Definidas as escalas, a seleção dos materiais para os diferentes blocos de enrocamentos foi realizada. Os materiais foram separados de acordo com a escala definida, sendo que para cada uma das camadas foram selecionados volumes de materiais especificamente atribuídos para cada um dos pesos seguindo a escala imposta. A figura 4.5 ilustra os intervalos de pesos e dimensões de materiais utilizados.



Figura 4.5 – Escala de pesos e tamanhos aproximados dos materiais constituintes das camadas de materiais pétreos.

Na escala de pesos foram considerados os valores apresentados na tabela 4.2.

Tipo	Peso (gramas)
1	2.2
2	5.4
3	8.3
4	15.0
5	25.0
6	51.0
7	70.0
8	96.0
9	228.0
Tetrápodes	156.6

Tabela 4.2 – Tipo e pesos dos grupos de materiais dos blocos para o modelo.

Os materiais e respectivos volumes foram separados de acordo com as características descritas na tabela 4.3.

Camada	Tipo	Volume (litros)
0.5 a 2 tf	1	70
	2	
	3	
1 a 2 tf	2	16
	3	
2 a 5 tf	3	10
	4	
	5	
3 a 5 tf	4	8
	5	
Tetrápodes partidos	indefinido	15
Tetrápodes	10	45
TOT	Todas	150

Tabela 4.3 – Camadas, tipo e volumes de materiais.

Os volumes foram calculados a partir do perfil do quebramar do porto do Funchal, usando para o efeito as áreas obtidas a partir do desenho CAD, reduzindo-as à escala do modelo e convertendo em litros.

Considerando que existem tetrápodes partidos no quebramar do Funchal, incorporaram-se no modelo pedaços de blocos para uma melhor aproximação à realidade.

### 4.3.3 Construção do Modelo Físico

O quebramar é composto por:

- i) blocos de pedra de todo o tamanho (TOT) nas camadas mais interiores;
- ii) blocos de pedra (enrocamento) de 0.5 a 5 tf nas camadas intermédias;
- iii) blocos de pedra de 3 a 5 tf na banquetta de enrocamentos;
- iv) tetrápodes partidos nas camadas mais exteriores e
- v) tetrápodes (25 tf), no manto resistente.

A superestrutura do perfil é composta por betão com um muro cortina defletor que chega aos 11 metros referidos ao ZH.

Uma vez que o objetivo principal dos ensaios era simular as condições de estabilidade das camadas mais expostas do quebramar, o modelo foi construído reproduzindo estas camadas, sendo que foi construído somente até sensivelmente meio do seu eixo. Não foi reproduzida com fidelidade a zona de atracação dos navios (lado protegido da rebentação) uma vez que está do lado oposto à incidência da agitação gerada dentro do tanque de ondas.

Foi construído um modelo a duas dimensões (2D) junto à parede do tanque, no enfiamento de uma das janelas existentes para que assim fosse possível acompanhar a sua evolução ao longo dos ensaios.

A figura 4.6 representa o perfil do quebramar do porto do Funchal a ser construído, com o perfil transversal pintado a cor vermelha no vidro lateral do tanque de ondas, de modo a balizar cada uma das camadas a construir e respetivos materiais.

No início da montagem do modelo, foram colocadas as divisórias que formavam o canal por onde a agitação se propagaria em direção ao modelo, a uma distância da parede de 75 cm, como está ilustrado na figura 4.7.

A distância de 75 cm foi escolhida de acordo com a experiência adquirida noutros trabalhos e ainda de modo a que os moldes da superestrutura encaixassem corretamente entre si não deixando folgas entre eles, e/ou entre eles e as divisórias e/ou entre eles a parede do tanque, uma vez que estes tinham exatamente 37.5 cm de comprimento. Foram construídos 2 moldes da superestrutura de forma a representar a realidade existente no protótipo constituído por blocos.

Depois das divisórias colocadas, começou-se a montagem do modelo propriamente dita. Delimitou-se a parte de trás do modelo (sotamar, zona abrigada em relação à agitação) com blocos de betão e sacos de areia (figura 4.8) que serviriam de suporte para as

camadas posteriores do modelo e começou-se a encher as camadas interiores do modelo com os materiais previamente separados de acordo com a escala adotada já referenciada.



Figura 4.6 – Perfil tipo do quebramar desenhado no vidro lateral do tanque de ondas.



Figura 4.7 – Divisórias colocadas a 75 cm da parede lateral do tanque de ondas (vistas de barlamar e sotamar).



As figuras de 4.8 a 4.14 retratam as várias fases de construção do modelo a partir da colocação das divisórias e da camada de suporte posterior do modelo, até à conclusão da construção da camada mais exterior de tetrápodes e posterior enchimento do tanque com água.



Figura 4.8 – Início do enchimento da camada inferior de TOT.



Figura 4.9 – Camada de TOT concluída.



Figura 4.10 – Camada de enrocamentos de 0.5 a 2 tf.



Figura 4.11 – Camada exterior de enrocamentos de 1 a 2 tf.





Figura 4.12 – Camadas exteriores de enrocamentos de 3 a 5 tf e de 2 a 5 tf.



Figura 4.13 – Camada de tetrápodes (25 tf).



Figura 4.14 – Modelo completo e água pelo nível de PMAV.

#### **4.4 Sistema de Geração de Ondas e Sistema de Aquisição de Dados**

O sistema de geração de ondas e o sistema de aquisição de dados estão interligados entre si, na medida em que estes se complementam e em conjunto são os elementos necessários para o funcionamento deste tipo de sistemas e ensaios sobre modelos físicos reduzidos. O sistema é controlado em dois terminais distintos. Um terminal gere a aquisição de dados e o outro terminal gere a ondulação criada dentro do tanque.

##### **4.4.1 Sistema de Aquisição de Dados**

O sistema de aquisição de dados é controlado pelo software *HR DAQ Suite* que permite a aquisição dos dados provenientes das sondas hidrodinâmicas colocadas dentro do tanque de ondas, a sua gestão, análise e interpretação.

O *software* faz a gestão dos dados obtidos das sondas hidrodinâmicas colocadas dentro do tanque de ondas e que através de um terminal de conversão de sinais (instrumentos identificados à direita na figura 4.15 pela seta verde) indica a altura de onda em cada



instante definido para a medição, bem como, e caso seja relevante para os ensaios realizados, as reflexões que ocorrem no modelo e atravessam de volta cada uma das sondas hidrodinâmicas (figura 4.16).

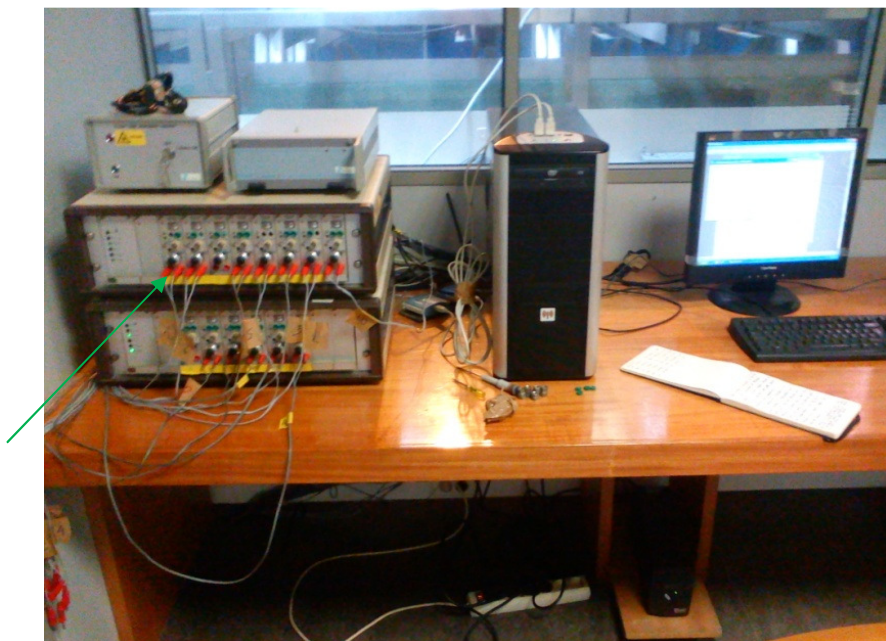


Figura 4.15 – Terminal de gestão do sistema de aquisição de dados e terminal de sondas.



Figura 4.16 – Sondas hidrodinâmicas.

A medição da profundidade e correspondente altura de onda, baseia-se na diferença de potencial entre os dois filamentos que compõem a sonda, sendo essa diferença medida e convertida numa medição instantânea de profundidade de imersão, diretamente relacionada com a elevação da superfície livre (Silva, 2010).

Para que as sondas hidrodinâmicas permitam a correta obtenção das elevações da superfície livre dentro do tanque é necessária a sua calibração de forma regular. O software *HR DAQ Suite* possui uma opção própria para o efeito. A calibração é feita para cada uma das sondas hidrodinâmicas através da imersão da sonda na água estática em três alturas distintas bem definidas e claramente espaçadas entre si, para que cada uma das sondas seja calculada a reta de ajuste linear própria e assim se obtenha informação necessária para saber se as sondas foram ou não bem calibradas.

A figura 4.17 mostra a janela do *software* onde são introduzidos os dados referentes a cada uma das sondas, desde os dados gerais e respetivo tipo, até à sua calibração através da indicação das três posições relativas à profundidade no tanque. Na figura 4.18 é apresentado um *output* dos resultados numéricos obtidos para uma das calibrações diárias.

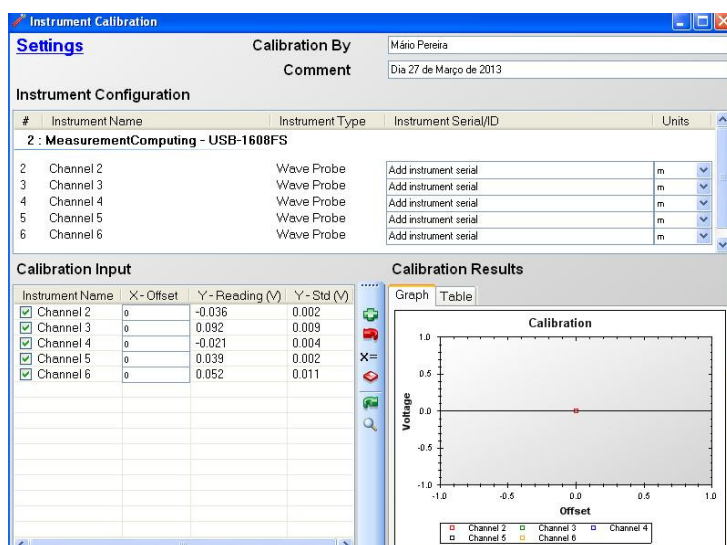


Figura 4.17 – Calibração das sondas. Introdução de parâmetros e obtenção dos resultados.

O valor  $R^2$  (figura 4.18) é designado por coeficiente de determinação que é necessário ter em consideração para uma correta calibração das sondas hidrodinâmicas. Para a correta calibração das sondas hidrodinâmicas o valor de  $R^2$  terá de ser superior a 0.999 (condição imposta pelo *software*).

Instrument Calibration

Calibrated by **Mário Pereira** on 2013/03/26 11:42:45

#	Instrument Name	Instrument Type	Ins...	Un...	Calibration	Zero	R <sup>2</sup>	95% CI @ FSD
<b>2 : MeasurementComputing - USB-1608FS</b>								
2	Channel 2	Wave Probe	S1	m	0.0426115482565042	-0.0195437520680328	0.999893476146261	0.000725213869667007
3	Channel 3	Wave Probe	S2	m	0.0251106385004314	-0.0964614256223041	0.999946206441522	0.000309647763209242
4	Channel 4	Wave Probe	S3	m	0.0371310128482495	-0.0795646106451749	0.999555242181396	0.00130175704360419
5	Channel 5	Wave Probe	S4	m	0.0360304146645953	0.0100628269587954	0.999986445728125	0.000218656669521866
6	Channel 6	Wave Probe	S5	m	0.0402662916201619	-0.0325892000521223	0.999988453052436	0.000226081414316237

Figura 4.18 – Resultados numéricos da calibração.

O *software HR DAQ Suite* permite igualmente a análise dos resultados obtidos através da apresentação dos resultados adquiridos ao longo dos ensaios por meio de gráficos ou tabelas, possibilitando introduzir qualquer correção necessária no sistema de geração de ondas.

A cadência de registo é variável, sendo escolhida de acordo com as necessidades dos ensaios a realizar. O valor pré-definido pelo *software* é de 100 Hz. No entanto, e de acordo com as características dos ensaios a realizar, a sua duração e a capacidade dos discos de registo, essa cadência pode ser aumentada ou diminuída.

As sondas são colocadas no tanque a distâncias pré-definidas de acordo com a aplicação existente no *software*. O *software* indica a que distâncias deverão estar cada uma das sondas entre si (figura 4.19) de acordo com os valores introduzidos para as frequências máximas e mínimas compreendidas entre os valores 0.5 Hz e 2 Hz de acordo com os valores apresentados na tabela 4.4.

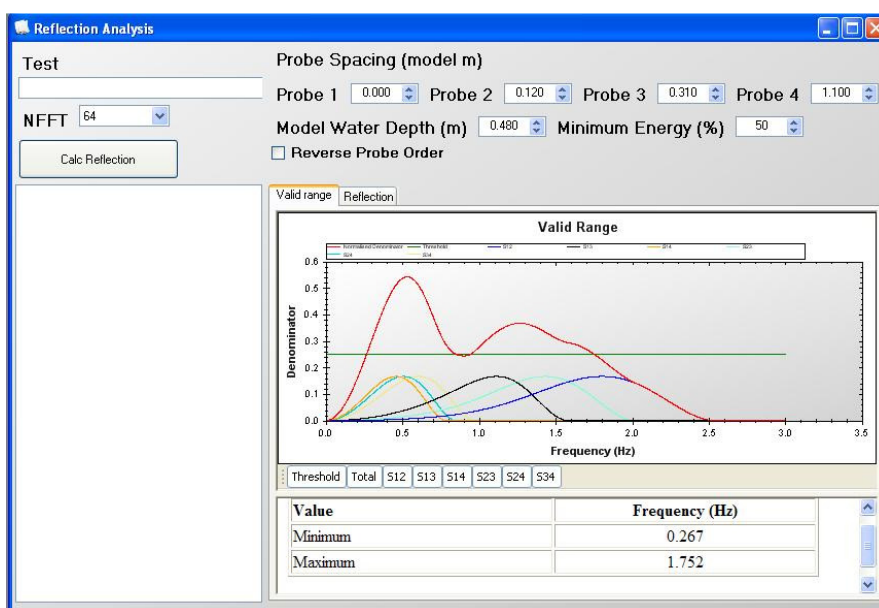


Figura 4.19 – Janela de controlo do processo do *software* HD DAQ Suite.

Períodos T(s)	Frequências (Hz)	Freq Min (Hz)	Freq Max (Hz)
1.36	0.735	0.368	1.471
1.49	0.671	0.336	1.342
1.63	0.613	0.307	1.227

Tabela 4.4 – Frequências máximas e mínimas admissíveis.

A distância da sonda mais próxima do modelo é dada pela expressão do comprimento de onda (4.5):

$$l_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (4.5)$$

onde, g representa a aceleração da gravidade e T o período dos estados de agitação. As distâncias encontradas são relativas ao modelo desde que sejam usados os períodos de estados de agitação referidos ao modelo físico reduzido.

As sondas são colocadas dentro do tanque às distâncias calculadas de acordo com a altura de água dentro o tanque, sendo a distância da segunda, terceira e quarta sonda para a primeira apresentadas na tabela 4.5.

Sondas	S1→S2	S1→S3	S1→S4
Distância (metros)	0.120	0.310	1.10

Tabela 4.5 – Distâncias relativas entre sondas.

Os dados são apresentados em tempo real ou após a conclusão dos ensaios em tabelas e gráficos, sendo fornecida informação relativa a determinados parâmetros, como sejam: o número de ondas; as alturas máximas; a média do décimo das maiores alturas de onda; a média do terço das maiores alturas de onda (Hs); e valores estatísticos dos sinais como sejam as médias, valores máximos e mínimos, desvio padrão, variância e o “Alpha” ((Máximo-Mínimo)/Desvio Padrão) como é apresentado na figura 4.20.

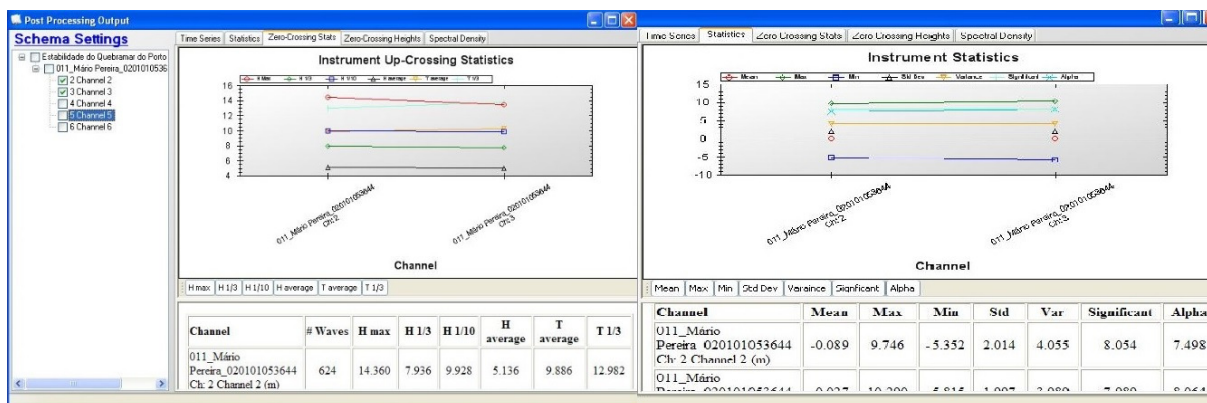


Figura 4.20 – Dados estatísticos apresentados pelo *software*.

Esta ferramenta de análise mostrou ser de extrema utilidade e importância na medida em que possibilitava verificar as alturas significativas de onda que entravam efetivamente no canal de ensaios, e assim, caso necessário, corrigir as alturas significativas das ondas que entravam no canal por intermédio de ganhos nas pás (figura O.13 – Anexo O).

No Anexo P estão exemplificados as etapas realizadas para a configuração do sistema de aquisição de dados.

#### 4.4.2 Sistema de Geração de Ondas

O sistema de geração de agitação é um sistema *HR Wallingford* do tipo pistão, multi-elemento composto por 16 pás revestidas por fibra de vidro com 75 cm de largura cada, separadas em conjunto de 8 pás controladas por duas unidades modulares distintas e um sistema ativo de absorção de reflexão de forma a eliminar as interferências que poderão existir a quando da geração da agitação seguinte.

O sistema é controlado pelo *software HR WaveMaker* que permite o controlo de todo o sistema de geração de ondas, bem como possibilita a definição dos parâmetros para a caracterização das ondas a gerar. Este *software* permite ainda a criação de vários tipos de agitação dentro de dois grupos distintos: a agitação regular e a agitação irregular. Dentro de cada um dos grupos referidos existem algumas variantes das agitações criadas podendo variar entre a agitação unidirecional, bidirecional e multidirecional e ainda através de utilização de filtros para geração de ondas mais complexas e com repetições ao fim de um certo período de tempo (Silva, 2010).



Este tipo de ferramenta é muito importante e bastante útil para os casos onde se pretende que as ondas geradas para um tipo de cenário sejam repetidas, de forma a garantir as mesmas condições do ensaio anterior para o ensaio seguinte e dessa forma garantir que os resultados obtidos possam ser comparados diretamente.

As ondas geradas para os diferentes ensaios realizados foram do tipo irregular. Para caracterizar esse tipo de agitação, é necessário, no *software HR WaveMaker*, definir os respetivos parâmetros. Definiu-se a profundidade da água no tanque (0.48 metros), a escala do modelo (1), o espetro (*JONSWAP* – Joint North Sea Wave Project) e o “Spread” (Long Crested) e ainda as alturas de onda significativa, gamma e período para cada um dos períodos de retorno a ensaiar.

Para os períodos de retorno a considerar nos ensaios, respetivamente 20, 50 e 100 anos, foram definidos os períodos e alturas de ondas significativas no modelo de acordo com os dados apresentados na tabela 4.6.

T (Anos)	Protótipo			Modelo	
	Período (s)	H Máx (m)	Hs (m)	Período (s)	Hs (cm)
20	10	11.87	6.72	1.36	12.4
50	11	13.45	7.61	1.49	14.0
100	12	14.63	8.28	1.63	15.3

Tabela 4.6 – Períodos, alturas significativas e máximas para cada período de retorno no protótipo e modelo.

Para cada um dos períodos de retorno, e uma vez que as condições de altura significativa de onda e período variavam, o *software* fornecia a indicação do tempo de ciclo que no final desse tempo o espetro se repetiria. Essa informação era então recolhida e introduzida no *software* de recolha e análise de dados para que fosse somente corrido um ciclo. Posteriormente, iniciava-se o *software HR WaveMaker* e começava-se por definir, janela a janela, os parâmetros necessários, de acordo com a ordem pré-estabelecida (Anexo O).

#### 4.5 Efeitos de Escala e Efeitos de Laboratório

Neste tipo de simulações sobre modelos físicos reduzidos em laboratório existem algumas fontes de erro que influenciam e requerem especial atenção e consideração a quando da obtenção e análise de resultados.



Em qualquer tipo de trabalhos para os quais é necessário a utilização de equipamentos de medição, são forçosamente introduzidos erros de medição inerentes a qualquer equipamento desse tipo pelas suas próprias limitações, as quais influenciam diretamente os dados adquiridos, sendo no entanto impossíveis de remover por completo. É somente possível a sua substituição por equipamentos de melhores precisões, aliados à possibilidade de minimização desses erros, através da utilização de técnicas e metodologias adequadas que possibilitem essa redução.

No entanto, neste tipo de ensaios em laboratório existem outras duas fontes de erro que são necessárias ter em consideração: i) os efeitos de escala e ii) os efeitos de laboratório, que irão ser considerados em seguida.

#### **4.5.1 Efeitos de Escala**

Os efeitos de escala são necessariamente tidos em consideração quando os ensaios em modelo físico são realizados a escalas diferentes do protótipo. Para minimizar estes efeitos deve-se utilizar a maior escala geométrica possível compatível com as dimensões e características do tanque de ondas.

Segundo Silva (2010), os principais efeitos de escala relacionados com os processos hidrodinâmicos provêm das dissimilaridades associadas às forças consideradas de menor importância, caso das forças de viscosidade e tensão superficial, quando o modelo físico é definido através do critério de Froude (Hughes, 1993).

Como são dominantes as ações gravíticas, adotam-se o critério de Froude (Hughes, 1993) para a construção do modelo. De acordo com as escalas adotadas, os efeitos de escala foram considerados desprezáveis, em particular dos efeitos de escala devidos à viscosidade, uma vez que é aceite na comunidade científica, que para valores de Número de Reynolds superiores a  $6 \times 10^4$  os efeitos de escala são mínimos.

No presente estudo, os valores estimados para o Número de Reynolds (equação 4.6), são os indicados na tabela 4.7.

$$Re = \frac{Ud}{\nu} \quad (4.6)$$

onde,  $U$  é a velocidade característica do escoamento,  $d$  o comprimento característico e  $\nu$  o coeficiente cinemático de viscosidade da água.

Alturas de Ondas (m)	4	5	6	7	8	9
Valores de $Re$ ( $\times 10^4$ )	5.13	5.74	6.29	6.79	7.26	7.70

Tabela 4.7 – Números de Reynolds para o caso de estudo.

Dessa forma, e perante os valores obtidos, os efeitos de escala são minimizados para o presente caso de estudo.

O modelo físico foi assim construído de acordo com a lei de Froude, sendo que dessa forma podemos desprezar os efeitos de escala existentes neste tipo de ensaios.

#### 4.5.2 Efeitos de Laboratório

Os efeitos de laboratório que estão presentes e que podem influenciar os resultados obtidos estão diretamente relacionados com as reflexões e atrito provocados pela parede junto ao modelo e pelas divisórias que separam o canal do resto do tanque, bem como os efeitos introduzidos pelo próprio sistema de geração de ondas (geração mecânica e pás).

A interação não-linear das ondas geradas pode dar origem a harmónicas de ordem superior em ondas regulares e ondas longas falsas em agitação irregular. O sistema de geração de ondas utilizado tem incorporado um sistema de absorção ativa que minimiza os efeitos de reflexão junto às pás e um método de compensação dos efeitos não-lineares, que consiste na adição de um sinal de segunda ordem corrigido, ao sinal primário de geração (Silva, 2010).

Admite-se que as técnicas utilizadas foram as adequadas e que estes tipos de efeitos foram minimizados, embora não eliminados por completo.

#### 4.6 Condições de Teste

Considerando o principal objetivo deste capítulo e tendo por base os dados disponíveis das alturas de onda significativa para cada um dos períodos de retorno apresentadas na tabela 4.1, foram selecionados os períodos de retorno cujas variações de altura significativa de onda fossem suficientemente discrepantes de modo a que o seu ensaio conduzisse a resultados suficientemente díspares e representativos.

Os períodos de retorno escolhidos para os ensaios a realizar foram os períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos. A razão da escolha destes períodos deveu-se ao facto das condições associadas a cada um destes períodos de retorno serem claramente distintas entre si, possibilitando a caracterização do estudo sobre o modelo físico do quebramar do porto do Funchal de forma global e completa. O nível de maré utilizado em todos os ensaios foi o equivalente ao PMAV (Preia Mar de Águas Vivas) de 2.5 metros ao ZH, por ser o mais desfavorável em termos de estabilidade.

As condições de agitação marítima criadas nos ensaios foram a agitação irregular do espectro *JONSWAP*, de acordo com as alturas significativas de ondas e períodos respetivos (Hasselmann *et al.*, 1973). O espectro *JONSWAP* é uma relação empírica que relaciona a distribuição de energia com a frequência nos oceanos. Este espectro é efetivamente uma versão do espectro de *Pierson-Moskowitz*, mas que foi calibrado com dados obtidos no mar do Norte. Tem sido aplicado frequentemente ao Atlântico Norte e à costa Portuguesa.

O espectro *JONSWAP* foi originalmente parametrizado em função da velocidade do vento e do “*fetch*”, mas que foi reescrito em função dos parâmetros caracterizadores da agitação marítima, altura de onda significativa e período do pico (Goda, 1988, citado por Goda, 2000) :

$$S(f) = \beta_J H_s^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp[-1.25(T_p f)^{-4}] \gamma^{\exp\left[\frac{(T_p f - 1)^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (4.7)$$

em que:

$$\beta_J = \frac{0.0624(1.094 - 0.01915 \ln \gamma)}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} \quad (4.8)$$

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_a \sim 0.07, & \text{se } f \leq f_p \\ \sigma_b \sim 0.09, & \text{se } f \geq f_p \end{cases}$$

O espectro de *JONSWAP* fica caracterizado através de um parâmetro  $\gamma$ , designado por “parâmetro de reforço do pico”. Este parâmetro representa o quociente entre o valor máximo de densidade espectral de energia e o valor máximo (homólogo) do espectro de um estado de mar completamente desenvolvido (descrito pelo espectro de *Pierson-Moskowitz*, Ochi, 1998) (Ramos, 2009).

Uma vez que as características das alturas significativas das ondas e o respetivo período diferiam entre cada período de retorno selecionado, as durações dos ensaios foram diferentes, sendo no entanto, constante a cadência de registo das variações do nível da superfície livre de água (60 Hz).

A duração dos ensaios para cada um dos períodos de retorno selecionados são apresentados na tabela 4.8.

Período de Retorno (anos)	Duração (seg)
20	700
50	770
100	840

Tabela 4.8 – Duração dos espectros *JONSWAP* para os períodos de retorno considerados nos ensaios realizados.

As sondas hidrodinâmicas, num total de cinco, foram colocadas dentro do tanque de ondas estando a primeira logo à entrada do canal para dar informação sobre a onda que entrava efetivamente no canal. As distâncias ao modelo de cada uma das outras quatro sondas foram de 4.57 m, 4.45 m, 4.26 m e 3.47 m.

Uma vez que períodos agitação a produzir para os períodos de retorno escolhidos eram diferentes, o valor de T usado na equação (4.5) foi o valor dos períodos dos estados de agitação intermédio 1.49 s.

#### 4.7 Ensaios Realizados

Os ensaios realizados com o modelo físico reduzido foram efetuados em dois dias consecutivos: i) quatro ensaios no primeiro dia e ii) os restantes 11 ensaios no segundo.

Uma vez que para cada um dos períodos de retorno se procurou “configurar” e alcançar as alturas de onda significativa e períodos específicos, foram necessários vários ensaios

até se conseguir obter para cada um dos períodos de retorno escolhidos as correspondentes alturas significativas de ondas que entravam efetivamente no canal de ensaios.

Após cada ensaio, foram analisados os resultados estatísticos das alturas significativas das ondas geradas e que entravam efetivamente no canal em cada uma das sondas hidrodinâmicas aí colocadas. No caso das alturas significativas das ondas serem inferiores ao desejado (nos casos em estudo foram sempre inferiores ao desejado), era dado um incremento no ganho das pás geradoras da agitação para que as alturas significativas de ondas fossem alcançadas.

Assim, foram realizados 15 ensaios de acordo com o apresentado na tabela 4.9.

Ensaio	Período de Retorno (anos)	Ganho nas Pás Geradoras
01	20	Sem Ganho
02	20	1.10
03	20	1.15
04	50	Sem Ganho
05	20	Sem Ganho
06	20	1.10
07	20	1.15
08	50	Sem Ganho
09	50	1.15
10	100	Sem Ganho
11	100	1.15
12	50	Sem Ganho
13	50	1.15
14	100	1.15
15	50	1.15

Tabela 4.9 – Ensaios realizados.

Os ensaios a partir do número 12 foram realizados a partir das condições iniciais do perfil da estrutura. Para o efeito, foi necessário entrar no tanque de ondas e refazer, dentro do possível, o estado inicial do modelo.

O ensaio número 15 foi o único ensaio em que o tempo de duração diferiu do tempo dos ensaios dos períodos de retorno semelhante e já apresentados na tabela 4.8. Como se tratava do último ensaio a realizar, decidiu-se realizar um ensaio de duas horas de modo a comprovar a evolução das camadas inferiores do quebramar.

Optou-se por realizar este último ensaio com o período de retorno de 50 anos, uma vez que as condições do período de retorno dos 100 anos eram demasiado extremas.

#### **4.8 Resultados**

Uma vez iniciados os ensaios, e obtidos os dados das sondas hidrodinâmicas, verificou-se que, a partir das configurações iniciais introduzidas no *software* de geração de ondas, as alturas significativas de onda que se pretendiam não eram alcançadas. A onda que entrava no canal tinha uma altura claramente inferior à da onda correspondente no restante domínio espacial do tanque de ondas, em grande parte resultado dos atritos criados pela parede do tanque de ondas e pela divisória de separação. Em consequência disso, foi necessário introduzir “ganhos” nas pás de geração de ondas de modo a que a onda que entrava no canal estivesse de acordo com as alturas significativas de ondas pretendidas.

Os ensaios 1, 2, 3 e 4, efetuados no primeiro dia, foram realizados com um número de tetrápodes reduzido na parte mais superior da camada do manto exterior, a mais exposta à agitação incidente, manifestamente inferior ao aconselhável, o que implicou que o coroamento do manto de tetrápodes não estivesse de acordo com o que seria desejável.

Este facto implicou que a rebentação das ondas geradas ocorresse sobre a superestrutura, havendo pouca dissipação de energia no manto de tetrápodes. O impacto da agitação era violento causando alguns galgamentos e instabilidades no suporte da mesma. Foi assim necessário reforçar a parte posterior da superestrutura e recolocar alguns tetrápodes na parte superior do manto de tetrápodes para que a rebentação ocorresse principalmente sobre os tetrápodes, e não sobre a superestrutura. Com essa correção, foram repetidos os ensaios realizados no primeiro dia.

Na repetição dos ensaios, mas agora com a parte superior do coroamento do manto de tetrápodes mais reforçado, já não foram tão evidentes os fortes impactos sobre a superestrutura para o período de retorno de 20 anos. A energia da agitação incidente era em grande parte dissipada nos tetrápodes de proteção.

As camadas submersas mais expostas, a banqueta e o manto exposto submerso de enrocamentos não sofreram alterações, estando relativamente estáveis, bem como o manto de tetrápodes.

A figura 4.21 pretende ilustrar a estabilidade das camadas mais expostas imersas e submersas em fotografia e em desenho CAD. O desenho CAD foi realizado a partir das

medições realizadas logo após a realização dos ensaios em comparação com o desenho existente na janela de observação do tanque de ondas.

Nestes ensaios, as camadas submersas mais exteriores não sofreram qualquer alteração significativa como se pode comprovar no desenho CAD da figura 4.21.

Verificou-se assim que, para os ensaios para períodos de retorno de 20 anos o comportamento da infraestrutura foi, na sua globalidade, estável.

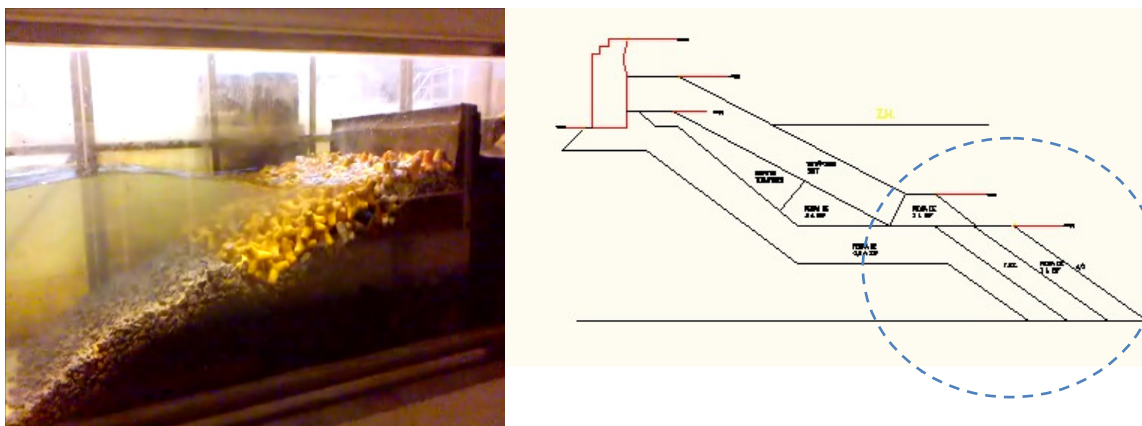


Figura 4.21 – Fotografia e desenho CAD após os ensaios para os períodos de retorno dos 20 anos.

No decorrer dos ensaios para os períodos de retorno de 50 anos, apesar de já existir um reforço dos tetrápodes no coroamento, as ondas geradas com altura significativa superior ao período de retorno de 20 anos, começaram a rebentar sobre a superestrutura e não sobre o manto de tetrápodes. Os galgamentos tornaram-se mais frequentes e de maior intensidade, tendo-se verificado uma pequena cedência da superestrutura face à incidência direta agitação.

As camadas submersas mais expostas, a banquetta e o manto exposto submerso de enrocamentos sofreram alguns deslizamentos, sendo mais evidentes na banquetta evidenciando um escorregamento progressivo, alinhando-se com o manto exposto submerso de enrocamentos.

No manto de tetrápodes, denotou-se o início de alguns movimentos para situações de agitação mais pronunciada, revelando também alguns deslizamentos possivelmente facilitados pelos movimentos na banquetta. As instabilidades começaram a ser visíveis.



Figura 4.22 – Fotografia e desenho CAD após os ensaios para os períodos de retorno dos 50 anos.

Verificou-se assim que, para os ensaios para períodos de retorno de 50 anos o comportamento da infraestrutura foi ligeiramente instável na sua globalidade e, em especial, para o manto exposto de enrocamentos e banquetas.

Nos ensaios para períodos de retorno de 100 anos verificou-se uma grande alteração na banquetas. Ocorreram movimentos ascendentes e descendentes de blocos, bem como movimentos no manto exposto submerso de enrocamentos que tenderam a se moldar num só. Denotou-se claramente uma evolução para um declive uniforme nessas duas camadas, perdendo-se a separação evidente entre as correspondentes configurações, evoluindo o talude para uma forma em “S” prolongado. Esta configuração em “S” prolongado verificou-se em protótipo após a ocorrência de danos graves, em quebramar, tal como aconteceu no acidente do quebramar de Sines em 1978/1979.

O manto dos tetrápodes tendeu igualmente a se movimentar na direção descendente, sendo agora claramente preenchido pelo material mais leve que foi sendo movimentado em ambas as direções. As protuberâncias do manto exposto existentes em projeto foram claramente suavizadas, deixando de se verificar qualquer fronteira entre as diferentes camadas (figura 4.23).

Os galgamentos tornaram-se muito frequentes e de intensidade significativa, provocando impactos com grande energia sobre a superestrutura, resultando na sua inclinação no sentido contrário à incidência da agitação. A figura 4.24 retrata a inclinação sofrida por um dos módulos da superestrutura.



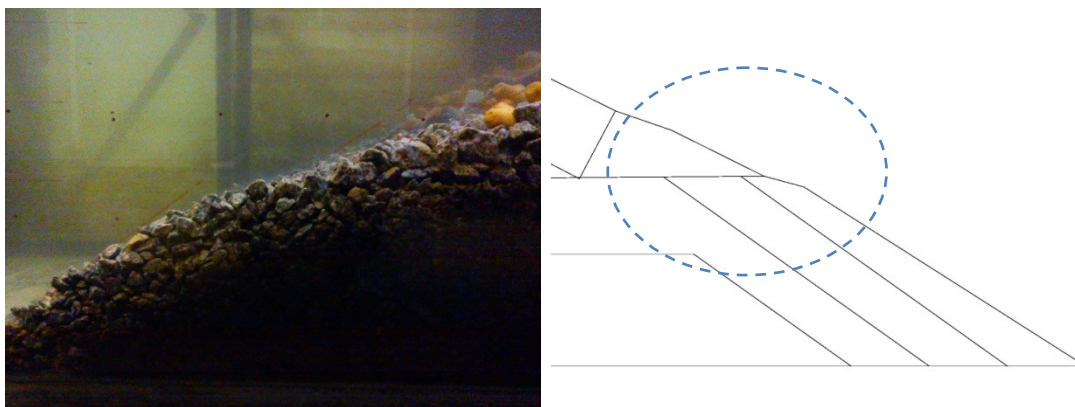


Figura 4.23 – Fotografia e desenho CAD após os ensaios para os períodos de retorno dos 100 anos.

Verificou-se assim que, nos ensaios com agitação incidente associada a períodos de retorno de 100 anos, o comportamento da infraestrutura foi bastante instável, com galgamentos muito frequentes e com a morfologia das suas camadas submersas em grande parte afetadas.



Figura 4.24 – Inclinação do módulo mais afastado da superestrutura evidenciando a violência da agitação.

Os ensaios foram realizados com níveis energéticos mais elevados, sequencialmente, até ao ensaio número 11. Poderá considerar-se que se trata de uma aproximação ao que acontecerá em protótipo quando um evento extremo de agitação é precedido por outros eventos menos energéticos que poderão originar algumas situações de instabilidades mas sem que seja reposta a situação inicial dos perfis.

A partir do ensaio 12 até ao ensaio número 15, realizaram-se 4 ensaios distintos, sendo sempre repostas as condições iniciais do perfil (dentro do possível), de modo a verificar as evoluções somente para aquele ensaio.

Verificou-se que as evoluções das camadas mais expostas não eram tão evidentes. Contudo, as instabilidades na superestrutura e os galgamentos foram semelhantes, tal como era expectável.

O que provoca as instabilidades na estrutura poderá ser um leque de acontecimentos sequenciais e não necessariamente eventos isolados no tempo.

Aquando do último ensaio, e uma vez que seria de duração bastante longa, optou-se por subir um pouco mais a cota do coroamento do manto de tetrápodes de modo a proteger mais a superestrutura dos impactos violentos da agitação, privilegiando desse modo a dissipação de energia proveniente dessa ação. Concluiu-se que essa opção pode ser muito vantajosa para a proteção da superestrutura, na medida que os galgamentos foram substancialmente reduzidos. Este cenário estudado no modelo, evidenciou a necessidade de uma recarga de tetrápodes no quebramar do porto do Funchal.

Foi igualmente evidente a evolução do perfil do manto exposto com uma tendência para adquirir um perfil em “S”. No final do ensaio número 11, relativo ao período de retorno de 100 anos, essa tendência é a mais patente.

#### **4.9 Considerações Finais**

Neste capítulo foi descrita a metodologia adotada e os trabalhos desenvolvidos sobre o modelo físico reduzido do quebramar do porto do Funchal com o objetivo de compreender o comportamento morfológico das diversas camadas constituintes do quebramar desde a sua base à sua superestrutura.

Foram descritas as instalações experimentais nas quais os trabalhos foram desenvolvidos, os equipamentos utilizados e suas características, o *software* empregue para a recolha e tratamento dos dados hidrodinâmicos, os processos da escolha e separação dos materiais, a montagem do modelo, a definição da escala, e ainda os sistemas de geração de ondas e o sistema de aquisição de dados.

Em termos de agitação incidente, foram ensaiados períodos de retorno de 20, 50 e 100 anos. Verificou-se que para o período de retorno de 20 anos a energia da agitação

gerada era em grande parte dissipada nos tetrápodes do manto de proteção e o comportamento da infraestrutura foi, na sua globalidade, estável.

Para o período de retorno de 50 anos os galgamentos tornaram-se mais frequentes e de maior intensidade, tendo-se verificado uma pequena cedência da superestrutura face à incidência da agitação. A infraestrutura começou por denotar algumas instabilidades.

Para os ensaios decorridos para o período de retorno de 100 anos verificou-se uma grande alteração da banqueta com movimentos ascendentes e descendentes de blocos. A banqueta e o manto exposto submerso de enrocamentos tenderam a se moldar numa só componente estrutural, claramente caminhando para um talude em forma de um “S” prolongado, sendo os galgamentos agora muito frequentes.

Perante o descrito, considera-se que os deslizamentos verificados nas camadas submersas mais expostas em modelo, a banqueta e o manto exposto submerso de enrocamentos, também poderão ter ocorrido em protótipo, sendo contudo, necessário proceder a essa comprovação *in situ* por campanhas de vídeo subaquático.

Pode-se mesmo afirmar que, perante os resultados obtidos nesta fase dos trabalhos, se torna fundamental e mesmo impreterível que sejam realizadas campanhas futuras e regulares de monitorização de vídeo subaquáticas, bem como a modelação em 3D da cabeça do quebramar do porto do Funchal para verificar igualmente em que medida as atracções e desatracações de navios de cruzeiro poderão ou não ter igualmente influência nas fragilidades encontradas e já enumeradas complementando os resultados obtidos no capítulo 3. Esta modelação 3D não foi realizada por falta de apoio financeiro. É necessário continuar o acompanhamento da infraestrutura por meio deste tipo de metodologias, enriquecendo-as sempre que possível com as restantes técnicas referidas previamente.

Este tipo de ferramenta mostrou ter um vasto leque de potencialidades, no entanto, também apresenta algumas limitações. As simulações permitem transpor para o protótipo os resultados obtidos em laboratório sobre o modelo, possibilitando o estudo intensivo sobre o objeto real, usando toda essa informação de forma alargada e garantindo a sustentabilidade futura da infraestrutura em análise. As simulações laboratoriais podem ser usadas como ferramentas para a definição das características de base em projeto, ou para estudos variados já com a infraestrutura construída, uma vez que logo à partida se poderá querer prever qual será o seu comportamento típico, ou querer perceber quais os motivos ou condicionantes que originaram certo tipo de

evidências, evidenciando todas as suas potencialidades e limitações nas suas aplicações próprias.

Um modelo laboratorial, ou seja em ambiente controlado, permite simular uma série de fenómenos, para diferentes condições de ação e sequências, que dificilmente seriam registadas em protótipo em tempo útil durante a realização de uma dissertação.

No modelo físico reduzido do quebramar do porto do Funchal foi possível verificar hipotéticas causas para as fragilidades encontradas na superestrutura, uma vez que pela análise dinâmica da agitação sobre os tetrápodes e muro cortina foi possível verificar os efeitos que o protótipo sofre aquando de tempestades violentas. Foi possível verificar que as camadas mais externas das fundações do quebramar tendem para uma redução da inclinação de projeto implicando um escorregamento das camadas mais superiores, colocando em risco a estabilidade de toda a infraestrutura.

As principais limitações encontradas para este caso particular prendem-se com o nível de incerteza da transponibilidade dos resultados e conclusões obtidas para o protótipo devido aos efeitos de escala e de laboratório. No caso em estudo, procurou-se mitigar esses efeitos através de metodologias e abordagens próprias de modo a possibilitar o uso desses resultados no protótipo.

## Capítulo 5

### Modelo Numérico do Quebramar do Porto do Funchal

#### 5.1 Considerações Iniciais

O comportamento dinâmico das infraestruturas reais, representados por modelos estruturais com vários graus de liberdade, é determinado fisicamente pelo facto de todas elas, consoante as respetivas características geométricas, de massa e de rigidez, terem modos preferenciais de vibração, com frequências bem determinadas (Mendes e Oliveira, 2008).

À semelhança do que foi referido no capítulo 4 relativamente aos modelos físicos, os modelos numéricos (ou matemáticos) são igualmente utilizados como elementos de referência que contribuem para aprofundar o conhecimento do objeto de estudo, podendo igualmente contribuir para melhorar a caracterização e configuração paramétrica dos modelos físicos. Esta relação é bidirecional na medida em que o conhecimento gerado em ambos os casos poderá ser usado como complemento do outro, nas mais diversas vertentes. São, deste modo, elementos orientadores para as definições das características dos objetos de estudo em fase de projeto, bem como *à posteriori* para melhor compreender o seu comportamento sujeito às condições reais.

São diversas as potencialidades dos estudos realizados utilizando modelos numéricos, quer pela facilidade de repetição de testes, bem como pela facilidade de ajuste das condições de teste em qualquer fase dos estudos, em oposição ao que se verifica na maioria dos casos nos modelos físicos.

Como já foi referido anteriormente, existem corrosões e fadigas internas dos materiais não visíveis e impossíveis de detetar com sistemas de avaliação de deformações geométricas. Essas ocorrências terão de ser detetadas com outro tipo de técnicas.

A estrutura tem frequências próprias de vibração, que quando sofrem qualquer tipo de alteração, significa uma modificação. Esta propriedade interna de cada material permite um acompanhamento temporal dos materiais e infraestruturas desejadas, contribuindo para um conhecimento mais aprofundado da sua evolução, uma vez que qualquer

alteração das suas frequências próprias de vibração demonstrará uma alteração do material.

No presente trabalho, os principais objetivos dos estudos realizados em modelo numérico foram:

- i) Determinar numericamente as principais frequências naturais de vibração da infraestrutura, com o objetivo de calibrar os parâmetros de deformabilidade do modelo para que as frequências calculadas se ajustem às frequências naturais identificadas *in situ* a partir dos resultados dos ensaios de medição de acelerações descritas na secção 3.5;
- ii) Calcular os deslocamentos expectáveis quando aplicadas forças máximas correspondentes à atracação de navios de cruzeiro (zona protegida da agitação) e forças associadas à agitação marítima (zona exposta à agitação).

Neste capítulo descrevem-se cada uma das fases desenvolvidas sobre o modelo numérico do quebramar do porto do Funchal com o propósito de compreender a evolução morfológica das suas camadas internas através das variações nas suas frequências naturais de vibração, e ainda através de forças aplicadas sobre o quebramar, simulando as forças que os navios de cruzeiro e a agitação marítima aplicam sobre o quebramar associando-as, se possível, às fragilidades identificadas na superestrutura do quebramar. Essa caracterização permitiu uma compreensão mais envolvente sobre a evolução morfológica da infraestrutura e sua correspondente estabilidade.

Na secção 5.2 são descritos os aspetos gerais do modelo numérico, em particular a rotina desenvolvida em MATLAB®, e as particularidades dos materiais que influenciam a caracterização do objeto de estudo. Na secção 5.3 é discutida a criação da malha de elementos finitos, que foi a base para a definição das camadas constituintes do objeto de estudo, as características dos materiais e a densificação da malha. Na secção 5.4 aborda-se o estudo paramétrico para a calibração dos materiais e correspondentes camadas constituintes do quebramar com a finalidade de ajustar as frequências obtidas nas campanhas *in situ*. Na secção 5.5 são apresentadas as simulações realizadas para o cálculo dos deslocamentos máximos obtidos em situações de tempestades e quando existem atracações atípicas. Por fim na secção 5.6 são tecidas algumas considerações finais relativas a este capítulo.

## 5.2 Especificações Gerais

A possibilidade de utilizar resultados de ensaios de vibrações para efetuar a identificação modal de estruturas com base em análises no domínio da frequência deve-se à seguinte constatação física: a decomposição em ondas sinusoidais pela técnica de Fourier de uma história de acelerações medida num dado ponto da estrutura sob qualquer tipo de excitação, permite identificar as frequências dos principais modos de vibração como as frequências das ondas de maior amplitude em que a história pode ser decomposta (Mendes e Oliveira, 2008).

Para a modelação numérica do quebramar do porto do Funchal foi desenvolvida uma rotina baseada em elementos finitos 2D (Zienkiewicz and Taylor, 2000) em MATLAB® (Anexo Q), que permite simular o comportamento estrutural do quebramar sob ações estáticas e dinâmicas, admitindo a hipótese de equilíbrio de placa e materiais isotrópicos com comportamento elástico linear (estado plano de deformação).

Nas infraestruturas de engenharia, tais como pontes, edifícios ou barragens, ocorrem movimentos oscilatórios quando estas são solicitadas por forças externas variáveis no tempo, como é o caso das forças devidas ao vento ou das forças associadas a ações sísmicas.

A análise dinâmica do quebramar do porto do Funchal foi efetuada numericamente com o objetivo de determinar as frequências naturais e principais modos de vibração da superestrutura do quebramar. Os parâmetros de deformabilidade ( $E$  e  $\nu$ ) dos materiais utilizados na zona em aterro e do betão da superestrutura são calibrados por forma a que as frequências calculadas numericamente coincidam aproximadamente com as frequências naturais identificadas *in situ* com base nos ensaios de medição de vibrações efetuados e descritos na secção 3.5.2.

Como se descreve na secção 5.5, para simular numericamente a resposta do quebramar às forças devidas à atracação dos navios e às forças devidas à agitação marítima consideram-se, simplificadamente, forças estáticas equivalentes aplicadas no modelo após a referida calibração dos parâmetros de deformabilidade da zona em aterro e do betão da superestrutura.

### 5.3 Malha de Elementos Finitos do Quebramar do Porto do Funchal e Caraterização do Modelo

Para realizar o descrito anteriormente é necessário criar a malha representativa do objeto de estudo. É constituída uma malha de acordo com a discretização que se pretende, sendo mais ou menos densa de acordo com o grau de pormenor que se pretende e capacidade de processamento dos equipamentos utilizados para o efeito.

A malha constituída para o quebramar do porto do Funchal foi criada de acordo com a necessidade de dar mais relevância às camadas mais exteriores, em especial à superestrutura e zona de atracação. Nessas duas zonas a malha foi mais densificada, sendo que para as camadas de tetrápodes e de enrocamentos foi um pouco menos densa, ficando as camadas internas de material de dimensões mais reduzidas com uma malha ainda mais espaçada.

Na modelação numérica foram utilizados elementos finitos isoparamétricos do 2º grau do tipo quadrado com 8 pontos nodais, nos vértices e a meio de cada um dos lados. Foi inicialmente elaborada uma malha de elementos finitos de 4 pontos nodais (figura 5.1) a qual, em seguida, foi convertida numa malha de 8 nós acrescentado nós intermédios a meio dos lados dos elementos já existentes (figura 5.2).

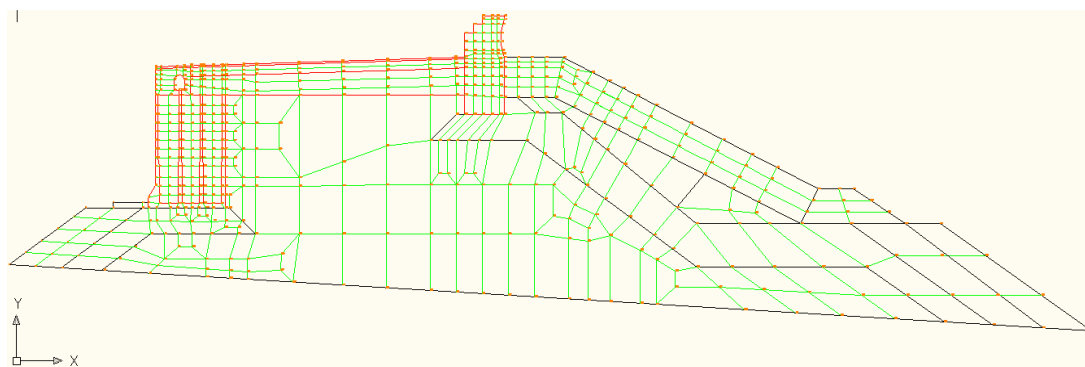


Figura 5.1 – Malha de elementos finitos de 4 nós.

Para o efeito, foi desenvolvida uma rotina em MATLAB® (Anexo R) que aos elementos de 4 nós definidos inicialmente na malha, acrescentava nós intermédios em cada uma das arestas.

Criada a malha e definidos os respetivos elementos constituintes, foi necessário a sua divisão de acordo com as diferentes camadas existentes. A atribuição das caraterísticas a



cada um dos elementos de acordo com o material foi efetuada considerando os 15 materiais constituintes do perfil do quebramar e apresentados na tabela 5.1.

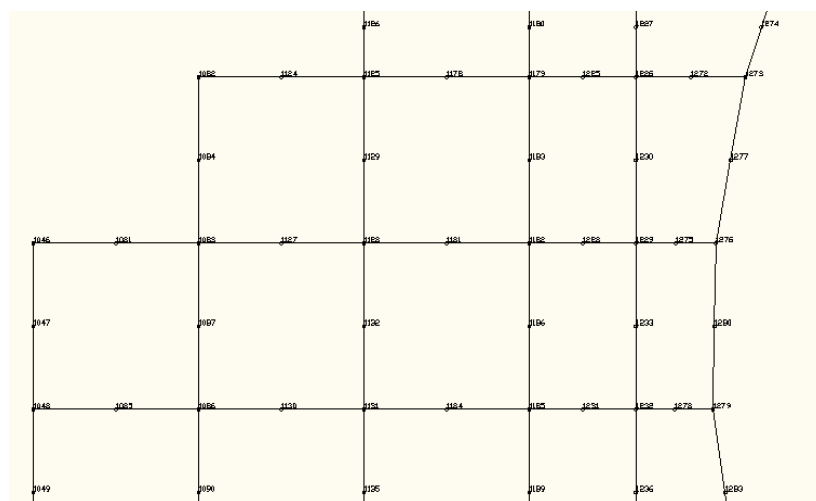


Figura 5.2 – Pormenor da malha de elementos finitos de 8 nós (zona superior da superestrutura).

Material	Tipo	E (kPa)	$\nu$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	Betão	2.00E+07	0.20	-
2	Betão Ciclópico	1.00E+07	0.25	-
3	Caixões de Betão	2.00E+07	0.20	-
4	Calçada/Betuminoso	4.00E+06	0.40	-
5	Pedra Arrumada	1.00E+05	0.30	-
6	Pedra de 0.5 a 2 tf	5.00E+04	0.30	-
7	Pedra de 1 a 2 tf	2.50E+04	0.30	-
8	Pedra de 2 a 5 tf	2.50E+04	0.30	-
9	Tetrápodes	1.00E+05	0.30	-
10	Detritos de Tetrápodes	1.00E+05	0.30	-
11	TOT	1.00E+05	0.30	-
12	Pedra de 20 a 500 Kg	5.00E+04	0.30	-
13	Blocos	2.00E+07	0.20	-
14	Outro Betão	2.00E+07	0.20	-
15	Betão Superestrutura	2.00E+07	0.2	24

E – Módulo de Elasticidade;  $\nu$  – Coeficiente de Poisson;  $\gamma$  – Peso Próprio

Tabela 5.1 – Características das camadas de materiais.

Na análise da resposta dinâmica da superestrutura do quebramar (betão) admitiu-se a hipótese de fundação elástica com massa nula.

Dado que no cálculo dos deslocamentos não se consideram as forças associadas ao peso próprio, são consideradas apenas as forças associadas à atracação e à agitação marítima, optou-se por apresentar na tabela 5.1 apenas o valor do peso específico para o material da superestrutura (Betão).

#### 5.4 Estudo Paramétrico. Calibração do Modelo com Base no Ajuste das Frequências Naturais de Vibração Calculadas e Identificadas *In Situ*

Após a elaboração da malha de elementos finitos foi realizado um estudo paramétrico com vista a calibrar os parâmetros de deformabilidade do modelo para que as frequências calculadas numericamente se ajustem às frequências naturais identificadas *in situ* e assim serem mais representativas das condições atualmente existentes.

No primeiro cálculo efetuado consideraram-se as características dos materiais e camadas base de projeto, apresentadas na tabela 5.1. Na figura 5.3 é apresentado o zonamento considerado igualmente de acordo com as camadas de materiais.

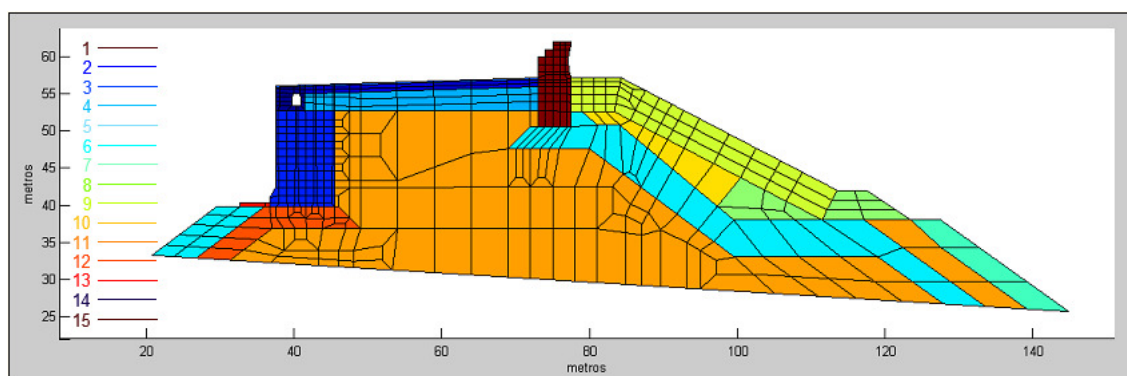


Figura 5.3 – Perfil do quebramar. Representação das camadas com diferentes materiais.

Na tabela 5.2 apresentam-se as seis primeiras frequências naturais de vibração calculadas numericamente considerando as propriedades elásticas referidas na tabela 5.1.

Nas campanhas discutidas na secção 3.5.2, as frequências dos picos espectrais mais importantes identificadas foram: os 4.3 Hz, os 7.8 Hz, os 8.6 Hz, os 12.9 Hz e os 17.1 Hz.

Como se pode comprovar, as frequências obtidas numericamente para as condições base (parâmetros elásticos E e  $\nu$  apresentados na tabela 5.1), não correspondem às obtidas nas campanhas de campo.

Modo	Frequência Natural de Vibração (Hz)
1	4.60
2	4.86
3	10.14
4	79.53
5	132.02
6	146.81

Tabela 5.2 – Frequências naturais de vibração calculadas para as condições base.

Com vista a determinar os parâmetros E e  $\nu$  das várias camadas do aterro para os quais se obtêm frequências naturais do modelo mais próximas das frequências identificadas *in situ* foi efetuado um estudo paramétrico, envolvendo uma sequência de dez cálculos que conduziram a uma solução otimizada que se considerou aceitável.

Para uma melhor caracterização, consideraram-se os resultados obtidos pelo modelo físico descritos no capítulo 4, orientadores pelos resultados obtidos nas variações verificadas em cada uma das camadas constituintes do quebramar.

A solução otimizada caracterizou-se por condições de maior deformabilidade nas camadas mais expostas à agitação marítima (manto de tetrápodes e detritos de tetrápodes), nas camadas sob a superestrutura e na zona sob os detritos de tetrápodes (solução encontrada através dos cenários criados no capítulo 4 e orientadores para este cálculo).

São apresentadas na tabela 5.3, as características elásticas dos materiais para a solução resultante do estudo paramétrico efetuado (modelo calibrado), para as camadas ajustadas. Todas as restantes mantiveram as características definidas à partida. Na figura 5.4 é apresentado o zonamento do modelo calibrado.

Material	E (kPa)	$\nu$
7	1.25E+04	0.3
8	1.25E+04	0.3
9	1.00E+05	0.3
10	1.00E+05	0.3
17 (antigo 11)	5.00E+04	0.3
18 (antigo 6)	2.50E+04	0.3
21 (antigo 11)	7.50E+04	0.3

Tabela 5.3 – Características elásticas dos materiais para a solução resultante do estudo paramétrico (modelo calibrado).

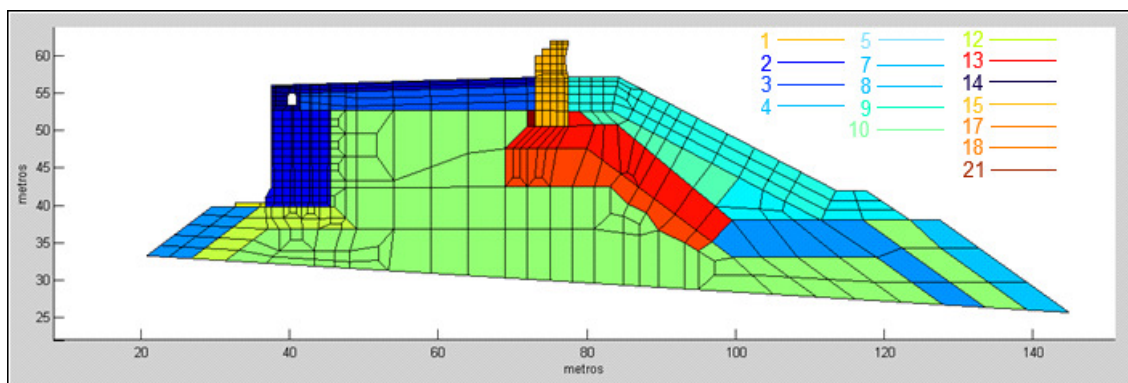


Figura 5.4 – Perfil do quebramar representado pelas camadas de materiais para o cenário escolhido.

As frequências calculadas com o modelo calibrado são apresentadas na tabela 5.4.

	Frequência (Hz)
1	3.8
2	4.4
3	8.7
4	79.1
5	131.9
6	146.5

Tabela 5.4 – Frequências naturais de vibração calculadas com o modelo calibrado.

As figuras 5.5 a 5.10 apresentam as frequências naturais de vibração e respectiva representação gráfica. A escala de cores representa a zona onde existe maior ou menor incidência da vibração.

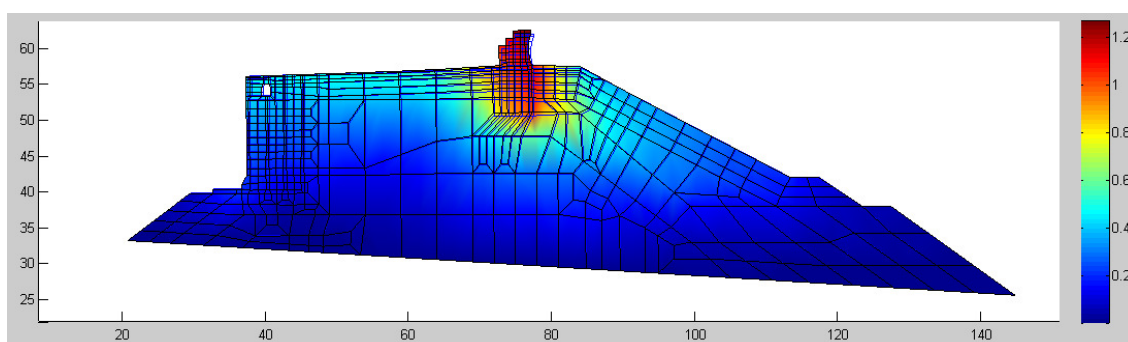


Figura 5.5 – Frequência dos 3.8 Hz.

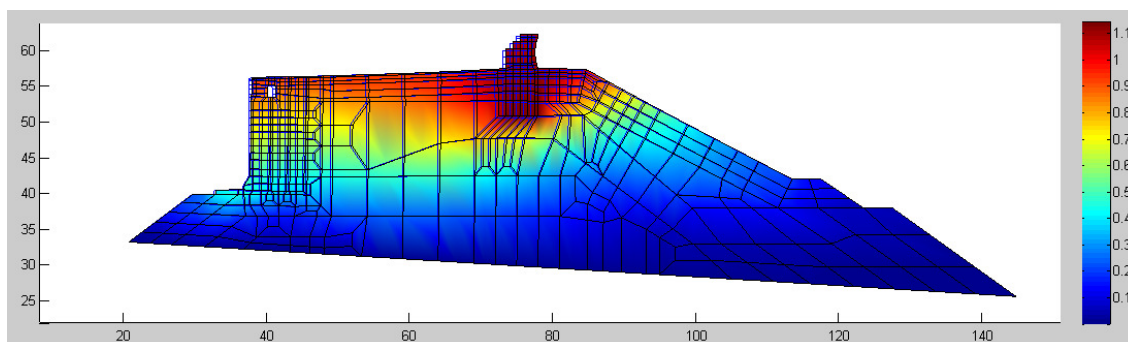


Figura 5.6 – Frequência dos 4.4 Hz.

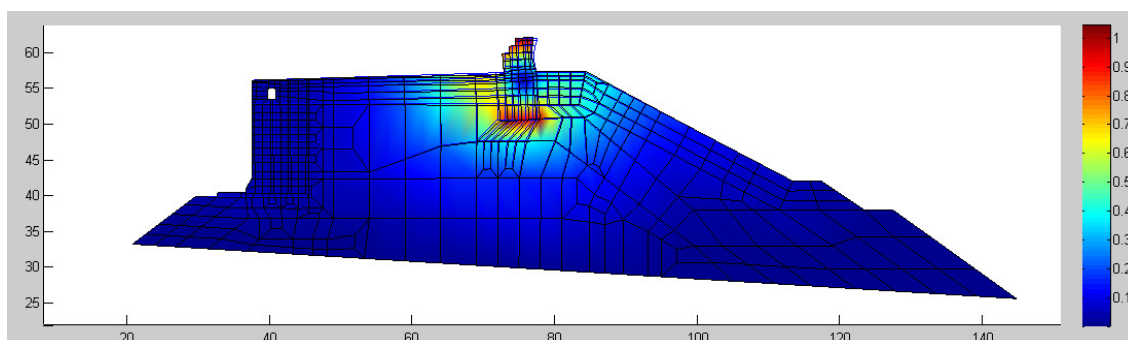


Figura 5.7 – Frequência dos 8.7 Hz.

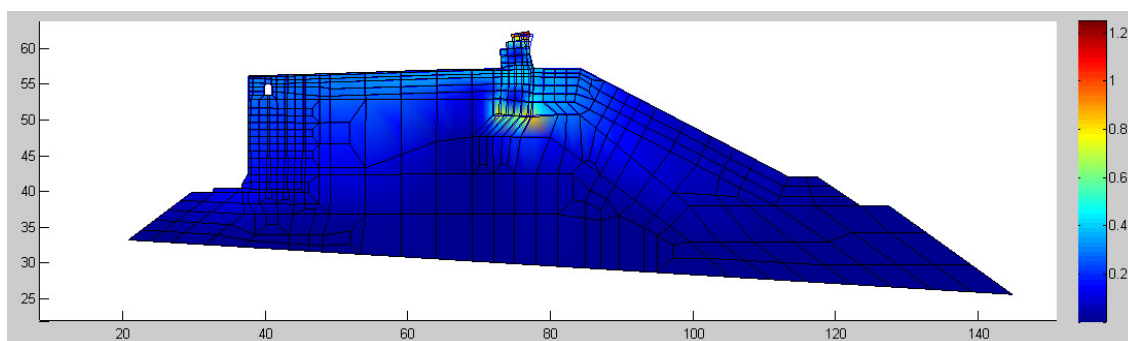


Figura 5.8 – Frequência dos 79.1 Hz.

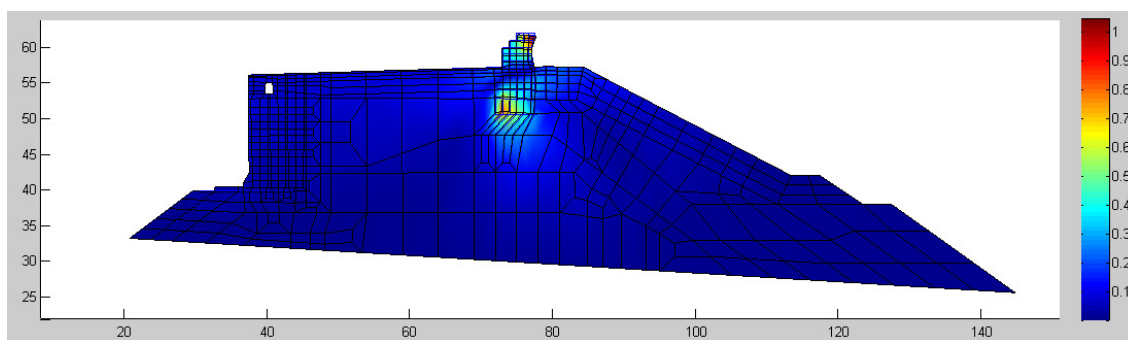


Figura 5.9 – Frequência dos 132.0 Hz.

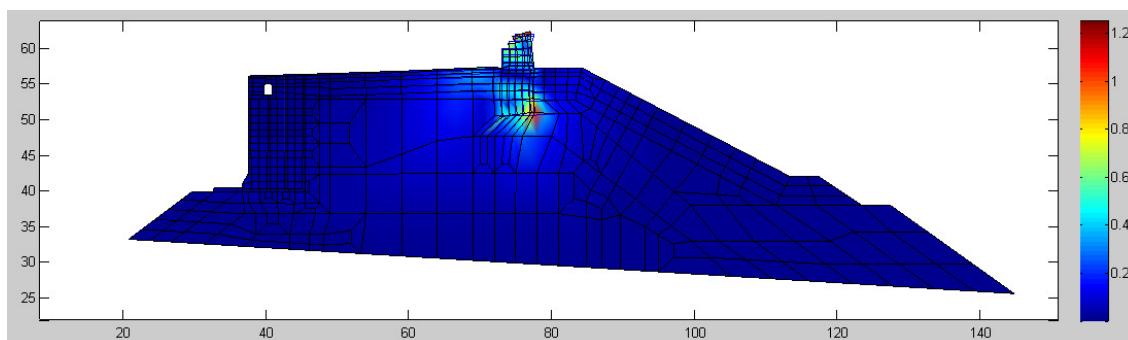


Figura 5.10 – Frequência dos 146.5 Hz.

Os cálculos e resultados intermédios obtidos para cada uma das combinações dos valores de  $E$  e  $\nu$  são apresentados no Anexo S.

As frequências obtidas *in situ* comparativamente com o ajuste paramétrico otimizado e descrito na tabela 5.4 são coincidentes para as principais frequências identificadas: as frequências dos 4.3 Hz e dos 8.6 Hz. Estas foram consideradas as frequências principais pelas amplitudes obtidas nas campanhas de campo.

Ajustado o modelo numérico a partir dos valores obtidos nas campanhas *in situ*, criaram-se cenários relativos às forças dos impactos devidos à atracação de navios de cruzeiro e à agitação marítima.

### 5.5 Deslocamentos devidos às Forças da Atracação de Navios de Cruzeiro e Forças Equivalentes da Agitação Marítima

Para o modelo calibrado apresentado na secção anterior, que se admite representar adequadamente as condições existentes no perfil do quebramar do porto do Funchal uma vez que as frequências naturais calculadas são idênticas às obtidas nas campanhas *in situ*, foram criados cenários com o objetivo de estimar os deslocamentos expectáveis quando aplicadas forças estáticas máximas devido à atracação de navios de cruzeiro, bem como devido à força equivalente devida à pressão da agitação marítima aquando da ocorrência de tempestades.

Segundo Ramos (2009), a reação transmitida pelas defensas à estrutura aquando de uma atracação típica é de 2786 kN, enquanto as forças horizontais e as forças verticais devidas à agitação marítima são de 4632 e 1322 kN/m, respetivamente.

Para determinar as forças a aplicar no modelo foi utilizado o método de Goda (figura 5.11). Este método define o dimensionamento de quebra-mares mistos, sob a ação de agitação irregular, com ou sem rebentação.

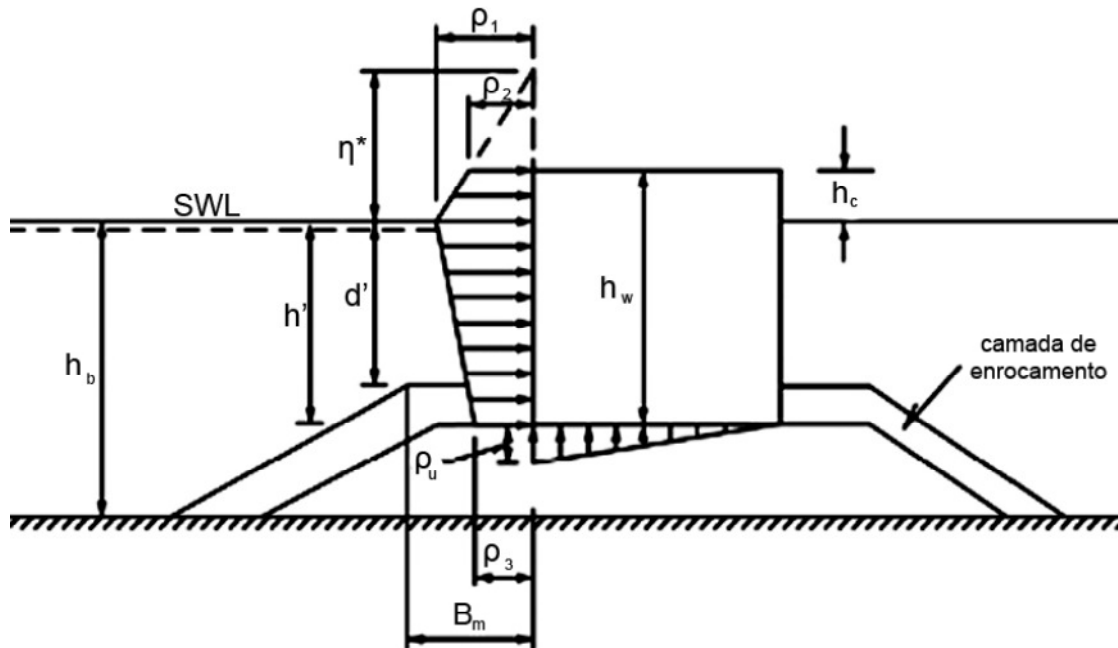


Figura 5.11 – Método de Goda (adaptado de Coastal Engineering Manual, 2006).

O método de Goda é baseado em ensaios em modelo reduzido, e pressupõe que:

- A onda de dimensionamento deverá ser, por definição, a maior onda que pode atingir a estrutura,  $H_{max}$ ;
- $H_d$  é estimada a uma distância de  $5H_s$  a partir do lado não abrigado do quebra-mar;
- $h_b$  define-se como a profundidade à distância de  $5H_s$  a partir do lado não abrigado do quebra-mar;
- $d$  define-se como a profundidade de água em frente ao pé do talude;
- $k = \frac{2\pi}{L}$  e é calculado em  $h_b$  com  $T_s = 1.1 T_m$  (onde  $T_m$  é o período de onda médio), tomando como  $L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$ ;
- Assume um diagrama trapezoidal para a distribuição das pressões ao longo do lado não abrigado do quebra-mar, e o diagrama de forças de direção vertical com sentido ascendente é considerado triangular;
- A pressão da água provocada pela elevação resultante do choque é dada pela equação 5.1:

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta) H_d \quad (5.1)$$

- $\beta$  é o ângulo que a onda faz com o paramento vertical do quebramar, tendo como referencial a normal. (Para ondas com direção perpendicular ao quebramar, toma-se  $\beta = 0$ );
- As pressões  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ , são determinadas pelas equações 5.2, 5.3 e 5.4, respetivamente;

$$P_1 = 0.5(1 + \cos \beta)(\alpha_1 + \alpha_* \cos \beta) \rho_w g d \quad (5.2)$$

$$P_2 = \begin{cases} \left(1 - \frac{h_c}{n^*}\right) P_1 & , \text{para } \eta^* > h_c \\ 0 & , \text{para } \eta^* < h_c \end{cases} \quad (5.3)$$

$$P_3 = \alpha_3 P_1 \quad (5.4)$$

- O impulso vertical  $P_u$  é dado por:

$$P_u = 0.5(1 + \cos \beta) \alpha_1 \alpha_3 \rho_w g H_d \quad (5.5)$$

- O efeito do período de onda  $\alpha_1$  é dado por:

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \left( \frac{2 k d}{\sinh(2 k d)} \right) \quad (5.6)$$

Para águas profundas:  $\alpha_1 = 0.6$  (valor mínimo); Para baixas profundidades:  $\alpha_1 = 1.1$  (valor máximo)

- O aumento na pressão associado à diminuição de altura de água  $\alpha_*$  é dado por:

$$\alpha_* = \alpha_2 \quad (5.7)$$

$$\alpha_2 = \min \left[ \frac{h_b - d'}{3 h_b} \left( \frac{H_d}{d'} \right)^2 ; \frac{2 d'}{H_d} \right] \quad (5.8)$$



- A distribuição linear das pressões  $\alpha_3$  é dada por:

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h_w - h_c}{d} \left( 1 - \frac{1}{\cosh(k d)} \right) \quad (5.9)$$

Tanimoto *et al.*, (1976) adicionaram a estas fórmulas fatores de modificação da estrutura ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ) que, para um paramento vertical são iguais a 1.

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta) \lambda_1 H_d \quad (5.10)$$

$$P_1 = 0.5(1 + \cos \beta)(\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_* \cos^2 \beta) \rho_w g H_d \quad (5.11)$$

$$P_2 = \begin{cases} \left(1 - \frac{h_c}{n^*}\right) P_1 & , \text{para } \eta^* > h_c \\ 0 & , \text{para } \eta^* < h_c \end{cases} \quad (5.12)$$

$$P_3 = \alpha_3 P_1 \quad (5.13)$$

$$P_u = 0.5(1 + \cos \beta) \lambda_3 \alpha_1 \alpha_3 \rho_w g H_d \quad (5.14)$$

Na figura 5.12 estão indicadas as zonas onde foram aplicadas as forças de atracção e da agitação marítima, tendo em consideração a PMAV de 2.5 metros referidas ao ZH.

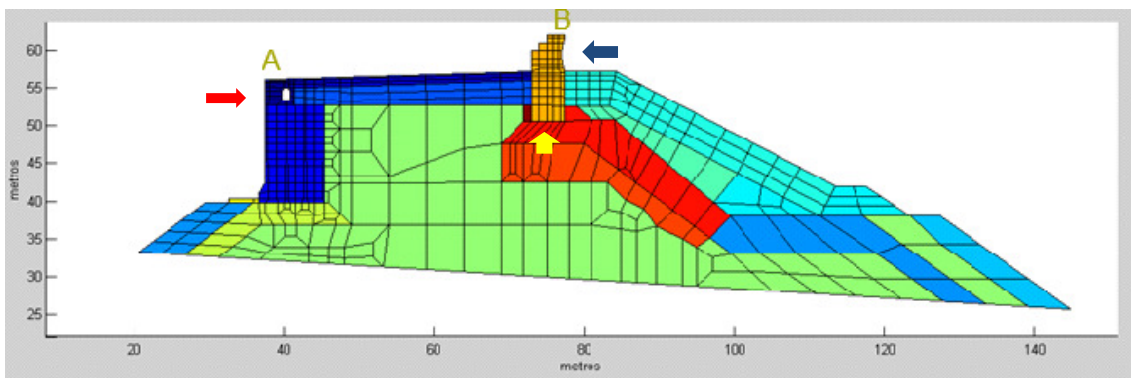


Figura 5.12 – Forças aplicadas representadas na malha de elementos finitos.

A força estática equivalente à força máxima estimada para a atracção de navios de cruzeiro (seta vermelha) é aplicada como uma força de superfície distribuída em dois elementos finitos na direcção horizontal. A força estática equivalente devido à agitação

marítima (seta azul) é aplicada como uma força distribuída normal, nos 13 elementos finitos situados na parte lateral direita da superestrutura. Consideraram-se também as forças devidas à subpressão, as quais foram aplicadas (na direção vertical, de baixo para cima) nos 5 elementos de contacto betão-aterro, na parte inferior da superestrutura.

Os deslocamentos máximos não são atingidos simultaneamente em todos os pontos da estrutura (Mendes e Oliveira, 2008).

### 5.5.1 Resultados Obtidos para as Forças Aplicadas

Com os cálculos efetuados simularam-se:

- i) As condições de atracação de navios de cruzeiro na parte protegida do quebramar;
- ii) As condições para a força equivalente exercida pela agitação marítima;
- iii) Conjugação das forças descritas em i) e ii).

Em todos os casos, consideraram-se as condições de PMAV de 2.5 metros referidas ao ZH. Foi considerada a hipótese de ocorrência de deterioração das condições de fundação das camadas submersas, nomeadamente no manto de tetrápodes e detritos de tetrápodes, na banquetta e manto submerso de enrocamentos, bem como nas camadas mais interiores sob a superestrutura.

Os deslocamentos obtidos para as três hipóteses de carga são apresentadas na tabela 5.5.

Tipo de Força	Deslocamento Máximo x (m)	Deslocamento Máximo y (m)
Navio	0.0311 (Ponto A)	0.0086 (Ponto A)
Agitação	0.0297 (Ponto B)	0.0200 (Ponto B)
Conjunto	0.0012 (Ponto B)	0.0162 (Ponto B)

Tabela 5.5 – Deslocamentos máximos para as componentes x (horizontal) e y (vertical).

As figuras 5.13, 5.14 e 5.15 apresentam graficamente os deslocamentos para cada um dos casos das forças aplicadas individualmente e em conjunto.

Os valores encontrados são os valores máximos quando se aplicam as forças máximas para cada um dos tipos de força descritos, verificando-se uma natural compensação nos deslocamentos quando as forças são aplicadas em conjunto.

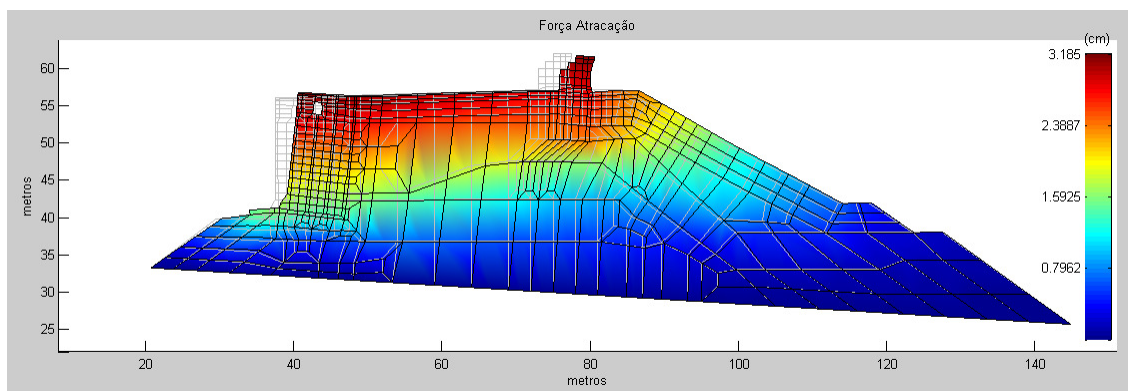


Figura 5.13 – Deslocamentos devidos às forças máximas aplicadas devidas à atracação de navios de cruzeiro.

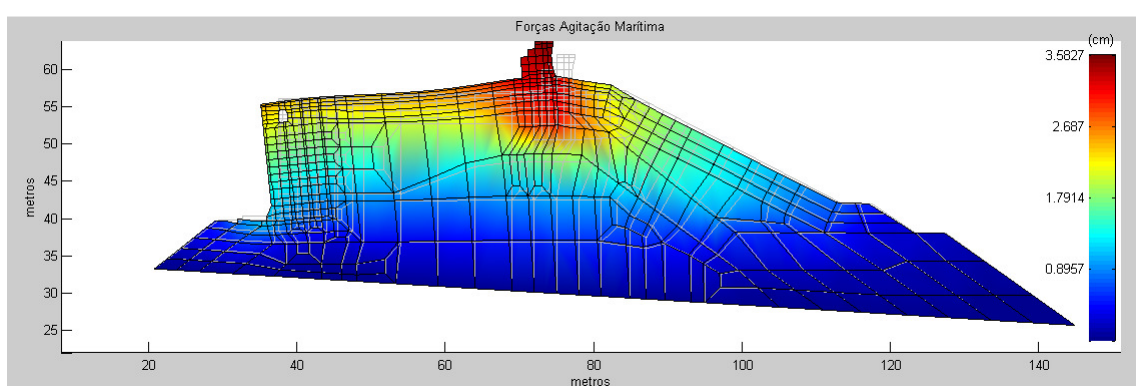


Figura 5.14 – Deslocamentos devidos às forças máximas aplicadas devidas à agitação marítima.

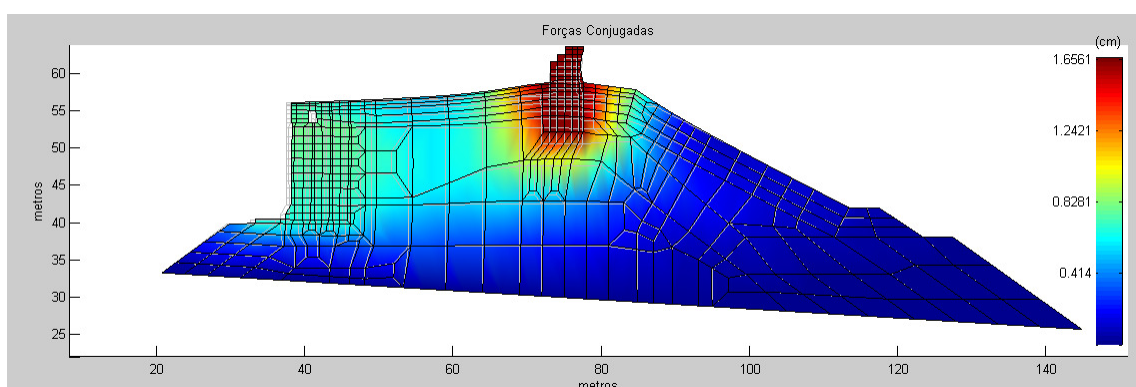


Figura 5.15 – Deslocamentos devidos às forças máximas conjugadas.

## **5.6 Considerações Finais**

Neste capítulo apresentou-se a metodologia adotada e os trabalhos desenvolvidos sobre o modelo numérico do quebramar do porto do Funchal com o objetivo de compreender a evolução morfológica das diversas camadas constituintes do quebramar desde a sua base à sua superestrutura, através do estudo das variações nas suas frequências naturais de vibração, e ainda através do estudo de forças aplicadas sobre o quebramar simulando as forças que os navios de cruzeiro e a agitação marítima aplicam sobre este.

Foram descritas e caracterizadas cada uma das fases, desde a criação da malha de elementos finitos representante do perfil do quebramar, até à criação de cenários relativos às forças que atuam sobre o quebramar.

Pela análise de Fourier obteve-se os espectros de amplitudes onde surgem picos espectrais que indicam as frequências naturais de vibração do quebramar, bem como a consistência verificada entre os valores das frequências naturais determinadas experimentalmente e os valores obtidos com o modelo numérico desenvolvido e ajustado ao protótipo considerando a evolução das camadas constituintes do quebramar obtidas igualmente no modelo físico.

Foram calculados valores de deslocamento expectáveis para condições extremas de agitação marítima em caso de tempestades e atracação de navios de cruzeiro com ocorrência de acidente/incidente, encontrando-se valores capazes de explicar as ocorrências e fragilidades identificadas visualmente.

## Capítulo 6

### Conclusões e Recomendações

#### 6.1 Síntese do Trabalho

Os principais objetivos deste estudo foram:

- Quantificação e qualificação dos resultados alcançáveis para cada um dos sistemas de monitorização definidos para o sistema de monitorização estrutural através de campanhas *in situ*;
- Avaliação da evolução estrutural do quebramar do porto do Funchal através de metodologias integradas de avaliação de deslocamentos por meio do sistema GNSS e acelerómetros;
- Avaliação das alterações morfológicas por intermédio de um modelo físico e modelo numérico;
- Avaliação dos resultados integrados pelas três técnicas de monitorização analisadas;
- Criação de um sistema integrado de monitorização e controlo da segurança de aplicado a quebramares conjugando técnicas de observação *in situ* e modelação numérica e física.

#### 6.2 Contribuições Inovadoras – Sistema Integrado Multifuncional

No âmbito deste trabalho apresentaram-se algumas contribuições inovadoras das quais se destacam o desenvolvimento de um sistema integrado constituído por GNSS, topografia clássica, acelerómetros, modelo físico e modelo numérico. Este sistema analisado por partes em cada um dos capítulos, pretende idealizar um sistema integrado de várias metodologias e técnicas de monitorização para o controlo de segurança de infraestruturas, que conjugue os resultados obtidos por essas técnicas tornando-se mais

completo e de mais fácil interpretação de resultados. A principal inovação é a análise integrada aplicada ao caso de estudo do quebramar do porto do Funchal e não nenhuma das técnicas de forma individual.

O sistema integrado multifuncional de monitorização e controlo da segurança de infraestruturas portuárias divide-se em duas vertentes distintas:

- i) avaliação estrutural;
- ii) avaliação morfológica.

Da avaliação estrutural retiraram-se elementos referentes às campanhas *in situ* e da avaliação morfológica informação referente às condições de evolução das camadas internas e externas do quebramar de acordo com os dados introduzidos em ambos os modelos.

Os dados das campanhas *in situ* foram usados para a configuração dos modelos físico e numérico, através das frequências naturais de vibração calculadas e os deslocamentos obtidos. Por sua vez, os modelos utilizavam os dados obtidos em cada um deles, servindo igualmente para uma configuração consistente. Assim, os dados obtidos nas campanhas *in situ* foram utilizados para calibração do modelo numérico; os dados obtidos na modelação física foram utilizados na calibração do modelo numérico; e os resultados obtidos na modelação numérica comprovaram as fragilidades identificadas na superestrutura do quebramar através das campanhas *in situ*.

### **6.3 Apreciação dos Resultados**

Os tópicos referidos na secção 6.1 foram descritos e analisados nos capítulos correspondentes nesta dissertação, sendo os principais resultados os que se descrevem em seguida:

- A definição de vários tipos de monitorização possibilita a análise do quebramar de forma global, subdivididos em sistemas de monitorização direccionados ao tipo de análise pretendida, possibilitando conclusões orientadas de forma concreta;
- A definição de um sistema de coordenadas apropriado referente ao quebramar proporciona uma análise dos resultados tomando como referência um sistema direto e de fácil interpretação dos resultados;

- A escolha de diferentes *software* de processamento de dados GNSS de modo a escolher aquele que melhor se enquadra nos objetivos do tipo de estudo, bem como o tipo de processamento de dados;
- A caracterização das épocas iniciais de referência para os sistemas de monitorização que requerem uma comparação direta entre os resultados obtidos em diferentes épocas;
- O sistema GNSS usado para a quantificar deslocamentos em campanhas programadas temporalmente, definidas de acordo com a periodicidade adequada às variações posicionais expectáveis para a infraestrutura, comprovou-se ser uma ferramenta viável para este tipo de monitorização;
- A definição de campanhas de duração de 2 horas é adequada na medida que possibilita uma quantificação dos deslocamentos consistente com uma precisão sub-centimétrica adequado à monitorização do quebramar;
- A verificação pela MEQ, que os valores encontrados nas campanhas utilizando os GNSS estão dentro das esferas de erro consideradas como erros inerentes à metodologia GNSS utilizada, implicando consequentemente que o quebramar se encontra numa fase de estabilidade relativa, não havendo evolução das instabilidades identificadas durante o período de inspeções visuais;
- A quantificação através do MMT que os tetrápodes de proteção do quebramar dos impactos diretos da agitação marítima sofrem variações posicionais que variam de alguns centímetros até alguns metros;
- A comprovação que por técnicas GNSS não é possível quantificar os deslocamentos que a superestrutura sofre aquando dos processos de atracação e desatracação na medida em que a aproximação dos navios de cruzeiro influencia o processo de forma direta pela obstrução e reflexão dos sinais GNSS recebidos pelas antenas dos recetores GNSS estacionados nos pontos objeto;
- A identificação pelo MAD utilizando os acelerómetros que é captado um padrão regular devido à agitação marítima com um período de 7 segundos que gera uma excitação do quebramar implicando que o quebramar vibre segundo as suas frequências naturais de vibração;

- A determinação aquando das campanhas *in situ* pela MAD utilizando os acelerómetros que as principais frequências naturais de vibração do quebramar são: 4.3 Hz e 8.6 Hz;
- O reconhecimento pelas campanhas realizadas com os acelerómetros que existe um impacto direto dos navios de cruzeiro sobre o quebramar identificável nas campanhas *in situ*;
- Pela simulação realizada sobre o modelo físico foi identificado que para o período de retorno dos 20 anos a energia da agitação gerada era em grande parte dissipada nos tetrápodes de proteção, não implicando que exista a necessidade de uma linha de tetrápodes muito subida. As camadas submersas mais expostas, a banquetta e o manto exposto submerso de enrocamentos não sofreram variações, estando relativamente estáveis, sendo possível identificar que para padrões regulares de agitação o quebramar comporta-se adequadamente respondendo de forma estável;
- Pela simulação realizada sobre o modelo físico para o período de retorno dos 50 anos, foi identificado que as camadas submersas do quebramar, nomeadamente no manto exposto de enrocamentos e banquetta, sofreram um escorregamento progressivo denotando alguma instabilidade, bem como no manto de tetrápodes ocorrendo alguns deslizamentos evidentes de material, desprotegendo consequentemente as camadas superiores. Os galgamento tornaram-se uma realidade efetiva, sendo os impactos da agitação pouco dissipados no manto de tetrápodes que denotou uma clara carência de recargas;
- Pela simulação realizada sobre o modelo físico para períodos de retorno de 100 anos, identificou-se uma grande variação na banquetta com movimentos ascendentes e descendentes dos materiais constituintes desta camada, bem como no manto exposto submerso de enrocamentos que tenderam a se moldar num só. Denotou-se claramente uma evolução para um declive uniforme nessas duas camadas, desvanecendo-se a fronteira de separação entre elas, começando por evidenciar uma forma de um “S” prolongado, no entanto, algo que se considera somente possível de ocorrer em situações extremas. Contudo, com a ocorrência de fenómenos extremos com uma maior



frequência, torna-se necessário programar recargas de tetrápodes com maior regularidade;

- Pela simulação realizada sobre modelo físico comprovou-se que a linha de proteção de tetrápodes é fundamental para a proteção do quebramar, estando claramente carente de recargas que suba a sua linha de proteção;
- Para o modelo numérico foram calculadas as frequências naturais de vibração do quebramar tendo-se constatado que estas não eram coincidentes com as frequências naturais obtidas pelas campanhas *in situ*. Recorrendo aos resultados encontrados na modelação física, alterou-se os valores do módulo da elasticidade e do coeficiente de Poisson dos materiais das camadas constituintes do quebramar para as quais se verificou uma alteração generalizada, nomeadamente no manto de tetrápodes, na camada de detrito de tetrápodes, na banquetta e manto exposto de enrocamentos, encontrando-se assim os valores coincidentes com as campanhas *in situ*. Com as alterações introduzidas nas camadas de materiais mais expostas às ações da agitação marítima de acordo com as evidências identificadas no modelo físico que denotam uma alteração progressiva das camadas submersas pertencentes ao perfil do quebramar, as frequências de vibração do quebramar foram compatibilizadas, podendo-se concluir que as camadas submersas do quebramar tiveram uma evolução que denota um quadro com movimentos significativos;
- Pela simulação recorrendo ao modelo numérico calibrado, foram calculados valores de deslocamento expectáveis para condições extremas de agitação marítima em caso de tempestades e atracação de navios de cruzeiro com ocorrência de acidentes, encontrando-se valores capazes de explicar as ocorrências e fragilidades identificadas visualmente, mas que não foram quantificados através das campanhas de monitorização *in situ* uma vez que no período em que a monitorização decorreu não se registaram ocorrências da mesma magnitude dos ensaios;
- Conclui-se que pelas campanhas de monitorização *in situ* que o quebramar encontra-se numa fase de estabilidade relativa, podendo-se fazer uma monitorização contínua deste pela avaliação comparativa dos resultados obtidos entre campanhas utilizando o GNSS, estação total e acelerómetros em

cada um dos tipos de monitorização descritos. A monitorização deverá ser semestral e sempre que ocorram eventos extremos;

- Pelas simulações, *à posteriori*, em modelo numérico utilizando os resultados obtidos com os acelerómetros nas campanhas semestrais ou após cada evento extremo justificativo, pode-se identificar quais as alterações nas camadas constituintes do perfil do quebramar uma vez identificadas alterações nas frequências naturais de vibração;
- Sempre que se justifique deverão ser realizadas campanhas complementares de monitorização de vídeo subaquática.

#### **6.4 Recomendações e Trabalhos Futuros**

O foco deste trabalho incidiu na criação de um sistema integrado de monitorização estrutural e morfológico para o controlo da segurança de infraestruturas portuárias através de técnicas e metodologias complementares.

Através das metodologias de monitorização definidas para o processo de estudo e acompanhamento evolutivo do quebramar, foi possível quantificar a evolução estrutural deste. Conclui-se que o quebramar se encontra numa fase estável, onde cada um dos pontos objeto monitorizados não evidenciou alterações. As diferenças encontradas entre épocas devem-se às diferenças intrínsecas às técnicas utilizadas para a monitorização e não a qualquer variação que o quebramar tenha sofrido. É aconselhável que a monitorização desta infraestrutura seja feita utilizando o GNSS conjuntamente com acelerómetros ambos em modo contínuo face à importância económica deste porto para a região. No caso de esta alternativa não ser economicamente viável, deverá ser mantida a metodologia de monitorização proposta nesta dissertação, devendo-se efetuar campanhas de monitorização semestralmente e sempre que ocorram eventos extremos. Qualquer alteração identificada, deverá ser confirmada pela simulação em modelação numérica, procurando a interligação de resultados e comprovação dos mesmos. Essa verificação torna-se crítica e de extrema importância pelas limitações que a monitorização interna dos materiais e camadas constituintes do quebramar evidencia.

Identificaram-se variações posicionais significativas na generalidade dos tetrápodes monitorizados, resultado esse reforçado pelos valores obtidos na modelação física. Torna-se necessário um reforço dos tetrápodes subindo significativamente a cota destes,

de modo a reforçar a defesa do quebramar relativamente aos impactos diretos da agitação.

Propõe-se que a MMT seja realizada utilizando fotogrametria a partir de veículos aéreos não tripulados ou fotogrametria clássica, uma vez que as marcas colocadas sobre os tetrápodes tendem a desaparecer ou ficar obstruídas após as suas movimentações.

Devido às dificuldades encontradas nas campanhas do MAD utilizando o GNSS pela obstrução criada pela aproximação do navio de cruzeiro ao quebramar dos sinais emitidos pelos satélites devido à “parede” que o navio de cruzeiro cria de um dos lados nos processos de atracação e desatracação, recomenda-se que se desenvolva uma metodologia de mitigação desta limitação de perda de sinais e multicaminho. Contudo, e tomando como referência que este tipo de eliminação de erros é de extrema complexidade, aconselha-se a utilização de sistemas inerciais para este tipo de monitorização.

O sistema de monitorização integrado desenvolvido pelas várias técnicas terá ainda de ser, sempre que possível, complementado através de campanhas de inspeção subaquática, para validação e comprovação dos resultados obtidos.

A metodologia integrada desenvolvida neste trabalho pode ser aplicada a outros quebramares, ou seja, não depende deste caso de estudo em particular.



## Referências

Axelrad, P., Comp, C.J., MacDoran, P.F., 1996. SNR Based Multipath Error Correction for GPS Differential Phase. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic System, 32(2): 650-660.

Barnes, J.B., Cross, P.A., 1998. Processing Models for Very High Accuracy GPS Positioning. Journal of Navigation, 51(2): 180-193.

Bilich, A., Larson, K.M., 2007. Mapping the GPS multipath environment using the signal-to noise ratio (SNR). Radio Science, Vol. 42, RS6003, doi:10.1029/2007RS003652, 2007.

Bos, M.S., Baker, T.F., 2005. An estimate of the errors in gravity ocean tide loading computations. J Geod, 79, pp. 50–63.

Brunner, F.K., Hartinger, H., Richter, B., 2000. Continuous Monitoring of Landslides Using GPS: a Progress Report. In: S.J. Bauer and F.K. Weber (Editors), Proc. Geophys. Aspects of Mass Movements, Austrian Academy of Sciences, Vienna, pp. 75-88.

Carvalho, A.S., 2009. Avaliação do Desempenho de Técnicas de Ajustamento para Análise de Deslocamentos em Redes GPS. Universidade Federal do Paraná.

Casaca, J., 1999. Avaliação da Qualidade Posicional de Cartografia Topográfica em Escalas Grandes. Atas da II Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia. Instituto Português de Cartografia e Cadastro e Ordem dos Engenheiros, pp. 452-462.

Cooley, J., Tukey, J., 1965. An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. Mathematics of Computation, Vol. 19, No. 90, pp. 297-301.

Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., Meindl, M., 2007. Bernese GPS Software Version 5.0. Astronomical Institute, University of Bern.

Dodson, A.H., Meng, X., Roberts, G., 2001. Adaptive Method for Multipath Mitigation and Its Applications for Structural Deflection Monitoring. International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, June 5-8, 2001, Banff, Alberta, Canada.

Farrell, W.E., 1972. Deformation of the earth by surface loads. *Rev Geophys Space Phys*, 10, pp. 761–797.

Forward, T., Stewart, M., Penna, N., Tsakiri, M., 2001. Steep Wall Monitoring Using Switched Antenna Arrays and Permanent GPS Network. *Deformation Measurements and Analysis*, 10th International Symposium on Deformation Measurements, March 2001, Orange, California, USA, pp. 33-41.

Gahalaut, V.K., Catherine, J.K., Jade, S., Gireesh, R., Gupta, D.C., Narsaiah, M., Ambikapathy, A., Bansal, A., Chadha, R.K., 2008. No Evidence of Unusually Large Postseismic Deformation in Andaman Region Immediately after 2004 Sumatra-Andaman Earthquake. *Geophysical Research Letters*, Vol. 35.

Goda, Y., 2000. Random Seas and Design of Maritime Structures. *Advanced Series on Ocean Engineering*. 2<sup>nd</sup>. Tokyo: World Scientific, ISBN 981-02-3256-X, 476 p.

Gomes, F., Pinto, T., Dias, E., Lopes, H., Santos, P., 2007. Estudo em modelo físico da eficiência hidráulica à reflexão de blocos verticais perfurados. *Atas 2(as) Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente*. Porto Portugal.

Grosso, A.D., Lanata, F., Pieracci, A., 2007. Data analysis and interpretation from GPS monitoring of a breakwater. 3<sup>rd</sup> International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure.

Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Miller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W., Walden, H., 1973. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP) *Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift Reihe, A(8) (Nr. 12)*, p.95.

Herring, T.A., King, R.W., McClusky, S.C., 2009. Introduction to GAMIT/GLOBK. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology. Release 10.35.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J., 1997. Global Positioning System: theory and practice. Springer-Verlag, Wien.

Hopfield, H.S., 1969. Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data. *J Geophys Res*, 74(18), pp. 4487-4499.

Hopfield, H.S., 1970. Tropospheric effect on electromagnetically measured ranges: Prediction from surface weather data. Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, Baltimore, MD.

Hopfield, H.S., 1972. Tropospheric range error parameters – further studies. Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, Baltimore, MD.

Hudnut, K.W., Behr, J.A., 1998. Continuous GPS Monitoring of Structural Deformation at Pacoima Dam, California. *Seismological Research Letter*, 69(4), pp. 299-308.

Hughes, S.A., 1993. Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering. Advanced Series on Ocean Engineering. London: World Scientific.

Hyzak, M., 1997. Practical Application of GPS to Bridge Deformation Monitoring. 64th FIG Permanent Committee Meeting and Symposium, Washington D.C.

Imakiire, T., Nakahori, Y., 2001. GPS Earth Observation Network (GEONET) of Japan, New Technology for a New Century, FIG Working Week, Seoul Korea.

Khan, S.A., Scherneck, H.G., 2003. The M2 ocean tide loading wave in Alaska: vertical and horizontal displacement, modeled and observed. *J Geod*, 77, pp.117-127.

Knecht, A., Manetti, L., 2001. Using GPS in structural health monitoring. SPIE's 8<sup>th</sup> Annual International Symposium on Smart Structures and Materials.

Langley, R.B., 1991. The mathematics of GPS. University of New Brunswick.

Lima, N., Henriques, M.J., Casaca, J., 2007. A incerteza de vetores GNSS em função do comprimento e duração da secção. Atas V Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, pp. 383-391.

Lovse, J.L., Teskey, W.F., Lachepelle, G., Cannon, M.E., 1995. Dynamic Deformation Monitoring of Tall Structure Using GPS Technology, Journal of Surveying Engineering, 121(1), pp. 35-40.

LNEC, 1991. Ensaio em modelo reduzido do molhe do Funchal. Ministério das obras públicas, transportes e comunicações.

Lu, B., Jin, J.P., Duan, W.Y., Chen, L.J., Guan, H.Y., 2012. Research of GPS Signal Multipath Effects Based on GAMIT TRACK. Advanced Materials Research Vols, 588-589, pp. 912-919.

Mendes, P., Oliveira, S., 2008. Análise dinâmica de estruturas – Utilização integrada de modelos de identificação modal e modelos de elementos finitos. ICT Informação Técnica.

Meng, X., 2002. Real-time Deformation Monitoring of Bridges Using GPS/Accelerometers. The University of Nottingham. Institute of Engineering and Space Geodesy.

Meo, M., Luliano, E., Morris, A.J., 2002. Health Monitoring of Large Scale Civil Structures, Cranfield University.

Pang, G., Liu, H., 2001. Evaluation of a Low-cost MEMS Accelerometer for Distance Measurement. Journal of Intelligent and Robotic Systems 30: 249-265.

Pereira, M., Teodoro, A.C., Veloso-Gomes, F., 2011. Avaliação de deslocamento e alterações morfológicas em infra-estruturas portuárias (porto do Funchal). Actas da VII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia (In Press).



Pereira, M., Teodoro, A.C., Veloso-Gomes, F., Henriques, M.J., Lima, J.N., Oliveira, S., 2013. Sistemas de Controlo e Análise Estrutural do Quebramar do Porto do Funchal. Atas das 8ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária.

Pereira, P., 2008. Análise dos Processos de Rutura e de Escoamento em Quebramares de taludes – Estudo do Quebramar Norte do Porto de Leixões. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Pilarczyk, K.W., Zeidler, R.B., 1996. Offshore breakwaters and shore evolution control. Taylor & Francis.

Ramos, R.L., 2009. Potencialidades e Condicionismos Físicos, do Desenvolvimento Portuária da Região Autónoma da Madeira. Caso de Estudo – Ampliação do Porto do Funchal. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Rizos, C., Han, S., Ge, L., Chen, H.-Y., Hatanaka, Y., and Abe, K., 2000(a). Low-cost Densification of Permanent GPS Networks for Natural Hazard Mitigation: First Tests on GSI's GEONET Network. Earth Planets Space, 52, pp. 867-871.

Rizos, C., Han, S., Roberts, C. and Han, X., 2000(b). Continuously Operating GPSBased Volcano Deformation Monitoring in Indonesia: Challenges and Preliminary Results. Springer-Verlag, pp. 361-366.

Schofield, W., Breach, M., 1972. Engineering Surveying. 6th. ed. Elsevier Ltd. Burlington, USA.

Seeber, G., 2003. Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications. Berlin, New York: Walter de Gruyter.

Shen, S., Chen, C., Huang, H., 2010. A New Calibration Method for Low Cost MEMS Inertial Sensor Module. Journal of Marine Science and Technology, vol. 18, no. 6, pp. 819-824.

Shuanggen, J., Wang, j., Park, P., 2005. An Improvement of GPS height estimations: stochastic modeling. *Earth Planets Space*, vol. 57, pp. 253-259.

Silva, R.C.A.F., 2010. Avaliação Experimental e Numérica de Parâmetros Associados a Modelos de Evolução da Linha da Costa. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Sorensen, R., Thompson, E.F., Briggs, M., Chasten, M.A., Lillycrop, L., 2003. Fundamentals of Design. Coastal Engineering Manual. VI-5. US Army Corps of Engineers, 378 p.

Sousa, J.F., 2004. O Porto do Funchal no Contexto do Sistema Portuário Insular Regional: As Infraestruturas, os Tráfegos e as Funções Portuárias. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas.

Teunissen, P.J.G., Kleusberg, A., 1998. GPS for Geodesy. 2<sup>nd</sup> Edition. Springer.

Tanimoto, K., Moto, K., Ishizuka, S., Goda, Y., 1976. An investigation on design wave force formulae of composite-type breakwaters. 23rd Japanese Conference on Coastal Engineering.

Xu, G., 2007. GPS Theory, Algorithms and Applications. Springer, 2<sup>nd</sup> Edition. Springer.

Wang, C.-C., 2013. A MATLAB package for multivariate normality test. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, pp. 1-23.

Wimmer, C., 2006. Position Measurement in Inertial Systems. *Mechatronics – Foundations and Applications*.

Zienkiewicz, O., Taylor, R., 2000. The Finite Element Method, Volume 1: The Basis. 5th Edition, Butterworth-Heinemann. Oxford.

## **Anexos**



## Anexo A



IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-1H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variação
UTM	322294.9298	322294.9344	322294.9372	322294.9355	322294.9351	322294.9404	322294.9399	322294.9360	322294.9341	322294.9364	322294.9354	322294.9362	322294.9359	0.0061	0.0015	-0.0013	0.0004	0.0008	-0.0045	-0.0040	-0.0001	0.0018	-0.0005	0.0005	-0.0003	0.0061	0.0027	0.0000
	3613359.9531	3613359.9525	3613359.9555	3613359.9550	3613359.9549	3613359.9555	3613359.9534	3613359.9552	3613359.9559	3613359.9570	3613359.9532	3613359.9573	3613359.9549	0.0018	0.0024	-0.0006	-0.0001	0.0000	-0.0006	0.0015	-0.0003	-0.0010	-0.0021	0.0017	-0.0028	-0.0024	0.0015	0.0000
	18.5786	18.5780	18.5767	18.5753	18.5762	18.5709	18.5754	18.5762	18.5764	18.5722	18.5744	18.5729	18.5755	-0.0061	-0.0025	-0.0002	0.0002	-0.0007	0.0046	0.0001	0.0003	-0.0009	0.0033	0.0011	0.0026	-0.0061	0.0032	0.0000
ITRF93	5143649.5698	5143649.5670	5143649.5643	5143649.5638	5143649.5645	5143649.5614	5143649.5660	5143649.5637	5143649.5638	5143649.5604	5143649.5640	5143649.5609	5143649.5641	-0.0057	-0.0029	-0.0002	0.0003	-0.0004	0.0027	-0.0019	0.0004	0.0003	0.0037	0.0001	0.0032	-0.0057	0.0026	0.0000
	-1562619.0222	-1562619.0165	-1562619.0128	-1562619.0145	-1562619.0151	-1562619.0087	-1562619.0105	-1562619.0140	-1562619.0160	-1562619.0126	-1562619.0146	-1562619.0129	-1562619.0142	0.0080	0.0023	-0.0014	0.0003	0.0009	-0.0055	-0.0037	-0.0002	0.0018	-0.0016	0.0004	-0.0013	0.0080	0.0034	0.0000
	3421069.2139	3421069.2104	3421069.2117	3421069.2110	3421069.2114	3421069.2092	3421069.2098	3421069.2112	3421069.2123	3421069.2111	3421069.2090	3421069.2117	3421069.2111	-0.0028	0.0007	-0.0006	0.0001	-0.0003	0.0019	0.0013	-0.0001	-0.0012	0.0000	0.0021	-0.0006	-0.0028	0.0014	0.0000

Δ12	Δ13	Δ14	Δ15	Δ16	Δ17	Δ18	Δ19	Δ110	Δ111	Δ112	Δ23	Δ24	Δ25	Δ26	Δ27	Δ28	Δ29	Δ210	Δ211	Δ212	Δ34	Δ35	Δ36	Δ37	Δ38
-0.0046	-0.0074	-0.0057	-0.0053	-0.0106	-0.0101	-0.0062	-0.0043	-0.0066	-0.0056	-0.0064	-0.0028	-0.0011	-0.0007	-0.0060	-0.0055	-0.0016	0.0003	-0.0020	-0.0010	-0.0018	0.0017	0.0021	-0.0032	-0.0027	0.0012
0.0006	-0.0024	-0.0019	-0.0018	-0.0024	-0.0003	-0.0021	-0.0028	-0.0039	-0.0001	-0.0042	-0.0030	-0.0025	-0.0024	-0.0030	-0.0009	-0.0027	-0.0034	-0.0045	-0.0007	-0.0046	0.0005	0.0006	0.0000	0.0021	0.0003
0.0056	0.0079	0.0083	0.0074	0.0127	0.0082	0.0064	0.0072	0.0114	0.0092	0.0107	0.0023	0.0027	0.0018	0.0071	0.0026	0.0028	0.0016	0.0058	0.0036	0.0051	0.0004	-0.0005	0.0048	0.0003	0.0005
0.0028	0.0055	0.0060	0.0053	0.0084	0.0038	0.0061	0.0060	0.0094	0.0058	0.0089	0.0027	0.0032	0.0025	0.0056	0.0010	0.0033	0.0032	0.0066	0.0030	0.0061	0.0005	-0.0002	0.0029	-0.0017	0.0006
-0.0057	-0.0094	-0.0077	-0.0071	-0.0135	-0.0117	-0.0082	-0.0062	-0.0096	-0.0076	-0.0093	-0.0037	-0.0020	-0.0014	-0.0078	-0.0060	-0.0025	-0.0005	-0.0039	-0.0019	-0.0036	0.0017	0.0023	-0.0041	-0.0023	0.0012
0.0035	0.0022	0.0029	0.0025	0.0047	0.0041	0.0027	0.0016	0.0028	0.0049	0.0022	-0.0013	-0.0006	-0.0010	0.0012	0.0006	-0.0008	-0.0019	-0.0007	0.0014	-0.0013	0.0007	0.0003	0.0025	-0.0019	0.0005

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
0.0004	-0.0049	-0.0044	-0.0005	0.0014	-0.0009	0.0001	-0.0007	-0.0053	-0.0048	-0.0009	0.0010	-0.0013	-0.0003	-0.0011	0.0005	0.0044	0.0063	0.0040	0.0050	0.0042	0.0039	0.0058	0.0035	0.0045	0.0037
0.0001	-0.0005	0.0016	-0.0002	-0.0009	-0.0020	-0.0018	-0.0023	-0.0006	0.0015	-0.0003	-0.0010	-0.0021	0.0017	-0.0024	0.0021	0.0003	-0.0004	-0.0015	0.0023	-0.0018	-0.0018	-0.0025	-0.0036	0.0002	-0.0039
-0.0009	0.0044	-0.0001	0.0001	-0.0011	0.0031	0.0009	0.0024	0.0053	0.0008	0.0010	-0.0002	0.0040	0.0018	0.0033	-0.0045	-0.0043	-0.0055	-0.0013	-0.0035	-0.0020	0.0002	-0.0010	0.0032	0.0010	0.0025
-0.0007	0.0024	-0.0022	0.0001	0.0000	0.0034	-0.0002	0.0029	0.0031	-0.0015	0.0008	0.0007	0.0041	0.0005	0.0036	-0.0046	-0.0023	-0.0024	0.0010	-0.0026	0.0005	0.0023	0.0022	0.0056	0.0020	0.0051
0.0006	-0.0058	-0.0040	-0.0005	0.0015	-0.0019	0.0001	-0.0016	-0.0064	-0.0046	-0.0011	0.0009	-0.0025	-0.0005	-0.0022	0.0018	0.0053	0.0073	0.0039	0.0059	0.0042	0.0035	0.0055	0.0021	0.0041	0.0024
-0.0004	0.0018	0.0012	-0.0002	-0.0013	-0.0001	0.0020	-0.0007	0.0024	0.0016	0.0002	-0.0009	0.0003	0.0024	-0.0003	-0.0006	-0.0020	-0.0031	-0.0019	0.0002	-0.0025	-0.0014	-0.0025	-0.0013	0.0008	-0.0019

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0019	-0.0004	0.0006	-0.0002	-0.0023	-0.0013	-0.0021	0.0010	0.0002	-0.0008	-0.0106
-0.0007	-0.0018	0.0020	-0.0021	-0.0011	0.0027	-0.0014	0.0038	-0.0003	-0.0041	-0.0048
-0.0012	0.0030	0.0008	0.0023	0.0042	0.0020	0.0035	-0.0022	-0.0007	0.0015	0.0127
-0.0001	0.0033	-0.0003	0.0028	0.0034	-0.0002	0.0029	-0.0036	-0.0005	0.0031	0.0094
0.0020	-0.0014	0.0006	-0.0011	-0.0034	-0.0014	-0.0031	0.0020	0.0003	-0.0017	-0.0135
-0.0011	0.0001	0.0022	-0.0005	0.0012	0.0033	0.0006	0.0021	-0.0006	-0.0027	0.0049

FINAL	ΔFINAL-1H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0003	0.0058	0.0012	-0.0016	0.0001	0.0005	-0.0048	-0.0043	-0.0004	0.0015	-0.0008	0.0002	-0.0006	0.0058	0.0027
3613359.9548	0.0000	0.0017	0.0025	-0.0007	-0.0002	-0.0001	-0.0007	0.0014	-0.0004	-0.0011	-0.0022	0.0016	-0.0025	-0.0025	0.0015
18.5763	0.0007	-0.0073	-0.0017	0.0006	0.0010	0.0001	0.0054	0.0009	0.0011	-0.0001	0.0041	0.0019	0.0034	-0.0073	0.0033
5143649.5647	0.0005	-0.0051	-0.0023	0.0004	0.0009	0.0002	0.0033	-0.0013	0.0010	0.0009	0.0043	0.0007	0.0038	-0.0051	0.0027
-1562619.0147	-0.0005	0.0075	0.0018	-0.0019	-0.0002	0.0004	-0.0060	-0.0042	-0.0007	0.0013	-0.0021	-0.0001	-0.0018	0.0075	0.0034
3421069.2115	0.0004	-0.0024	0.0011	-0.0002	0.0005	0.0001	0.0023	0.0017	0.0003	0.0004	0.0004	0.0025	-0.0002	0.0025	0.0014

- 1
- 08/03/2010 - 15\_16
- 2
- 09/03/2010 - 09\_10
- 3
- 09/03/2010 - 19\_20
- 4
- 10/03/2010 - 13\_14
- 5
- 10/03/2010 - 20\_21
- 6
- 11/03/2010 - 14\_15
- 7
- 16/03/2010 - 12\_13
- 8
- 16/03/2010 - 22\_23
- 9
- 17/03/2010 - 23\_24
- 10
- 18/03/2010 - 07\_08
- 11
- 19/03/2010 - 02\_03
- 12
- 19/03/2010 - 10\_11

Tabela A.1 - Uma hora

IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-2H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variação
UTM	322294.9318	322294.9320	322294.9361	322294.9348	322294.9377	322294.9391	322294.9374	322294.9371	322294.9358	322294.9359	322294.9355	322294.9363	322294.9358	0.0040	0.0038	-0.0003	0.0010	-0.0019	-0.0033	-0.0016	-0.0013	0.0000	-0.0001	0.0003	-0.0005	0.0040	0.0021	0.0000
	3613359.9520	3613359.9553	3613359.9551	3613359.9547	3613359.9573	3613359.9559	3613359.9551	3613359.9545	3613359.9555	3613359.9550	3613359.9559	3613359.9538	3613359.9550	-0.0000	-0.0003	-0.0001	0.0003	-0.0023	-0.0009	-0.0001	0.0005	-0.0005	0.0000	-0.0009	0.0012	0.0030	0.0013	0.0000
ITRF93	18.5751	18.5730	18.5728	18.5759	18.5760	18.5733	18.5745	18.5738	18.5734	18.5790	18.5769	18.5737	18.5748	-0.0003	0.0018	0.0020	-0.0011	-0.0012	0.0015	-0.0007	0.0010	0.0014	-0.0043	-0.0011	0.0011	-0.0042	0.0016	0.0003
	5143649.5642	5143649.5608	5143649.5619	5143649.5643	5143649.5638	5143649.5627	5143649.5645	5143649.5633	5143649.5621	5143649.5668	5143649.5638	5143649.5633	5143649.5635	-0.0007	0.0027	0.0016	-0.0008	-0.0003	0.0008	-0.0010	0.0002	0.0014	-0.0033	-0.0003	0.0002	-0.0033	0.0015	0.0000
	-1562619.0184	-1562619.0172	-1562619.0133	-1562619.0153	-1562619.0122	-1562619.0105	-1562619.0127	-1562619.0126	-1562619.0136	-1562619.0149	-1562619.0145	-1562619.0134	-1562619.0141	0.0043	0.0031	-0.0008	0.0012	-0.0019	-0.0036	-0.0014	-0.0015	-0.0005	0.0008	0.0004	-0.0007	0.0043	0.0022	0.0000
	3421069.2084	3421069.2100	3421069.2098	3421069.2111	3421069.2134	3421069.2108	3421069.2113	3421069.2098	3421069.2105	3421069.2131	3421069.2122	3421069.2092	3421069.2106	0.0024	0.0008	0.0010	-0.0003	0.0026	0.0000	-0.0005	0.0010	0.0003	-0.0023	-0.0014	0.0016	-0.0026	0.0015	0.0000

$\Delta_{12}$	$\Delta_{13}$	$\Delta_{14}$	$\Delta_{15}$	$\Delta_{16}$	$\Delta_{17}$	$\Delta_{18}$	$\Delta_{19}$	$\Delta_{110}$	$\Delta_{111}$	$\Delta_{112}$	$\Delta_{23}$	$\Delta_{24}$	$\Delta_{25}$	$\Delta_{26}$	$\Delta_{27}$	$\Delta_{28}$	$\Delta_{29}$	$\Delta_{210}$	$\Delta_{211}$	$\Delta_{212}$	$\Delta_{34}$	$\Delta_{35}$	$\Delta_{36}$	$\Delta_{37}$	$\Delta_{38}$
-0.0002	-0.0043	-0.0030	-0.0059	-0.0073	-0.0056	-0.0053	-0.0040	-0.0041	-0.0037	-0.0045	-0.0041	-0.0028	-0.0057	-0.0071	-0.0054	-0.0051	-0.0038	-0.0039	-0.0035	-0.0043	0.0013	-0.0016	-0.0030	-0.0013	-0.0010
-0.0033	-0.0031	-0.0027	-0.0053	-0.0039	-0.0031	-0.0025	-0.0035	-0.0030	-0.0039	-0.0018	0.0002	0.0006	-0.0020	-0.0006	0.0002	0.0008	-0.0002	0.0003	-0.0006	0.0015	-0.0004	-0.0022	-0.0008	0.0000	0.0006
0.0021	0.0023	-0.0008	-0.0009	0.0018	-0.0004	0.0013	0.0017	-0.0039	-0.0008	0.0014	0.0002	-0.0029	-0.0030	-0.0003	-0.0025	-0.0008	-0.0004	-0.0060	-0.0029	-0.0007	-0.0031	-0.0032	-0.0005	-0.0027	-0.0010
0.0034	0.0023	-0.0001	0.0004	0.0015	-0.0003	0.0009	0.0021	-0.0026	0.0004	0.0009	-0.0011	-0.0035	-0.0030	-0.0019	-0.0037	-0.0025	-0.0013	-0.0060	-0.0030	-0.0025	-0.0024	-0.0019	-0.0008	-0.0026	-0.0014
-0.0012	-0.0051	-0.0031	-0.0062	-0.0057	-0.0059	-0.0058	-0.0048	-0.0035	-0.0039	-0.0050	-0.0039	-0.0019	-0.0039	-0.0067	-0.0045	-0.0046	-0.0036	-0.0023	-0.0027	-0.0038	0.0020	-0.0011	-0.0028	-0.0006	-0.0007
-0.0016	-0.0014	-0.0027	-0.0050	-0.0024	-0.0025	-0.0014	-0.0021	-0.0047	-0.0038	-0.0038	0.0002	-0.0011	-0.0034	-0.0008	-0.0013	0.0002	-0.0005	-0.0031	-0.0022	-0.0008	-0.0013	-0.0036	-0.0010	-0.0015	0.0000

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
-0.0029	-0.0043	-0.0026	-0.0023	-0.0010	-0.0011	-0.0007	-0.0015	-0.0014	0.0003	0.0006	0.0019	0.0018	0.0022	0.0014	0.0017	0.0020	0.0033	0.0032	0.0036	0.0028	0.0003	0.0016	0.0015	0.0019	0.0011
-0.0026	-0.0012	-0.0004	0.0002	-0.0008	-0.0003	-0.0012	0.0009	0.0014	0.0022	0.0028	0.0018	0.0023	0.0014	0.0035	0.0008	0.0014	0.0004	0.0009	0.0000	0.0021	0.0006	-0.0004	0.0001	-0.0008	0.0013
-0.0001	0.0026	0.0004	0.0021	0.0025	-0.0031	0.0000	0.0022	0.0027	0.0005	0.0022	0.0026	-0.0030	0.0001	0.0023	-0.0022	-0.0005	-0.0001	-0.0057	-0.0026	-0.0004	0.0017	0.0021	-0.0035	-0.0004	0.0018
0.0005	0.0016	-0.0002	0.0010	0.0022	-0.0025	0.0005	0.0010	0.0011	-0.0007	0.0005	0.0017	-0.0030	0.0000	0.0005	-0.0018	-0.0006	0.0006	-0.0041	-0.0011	-0.0008	0.0012	0.0024	-0.0023	0.0007	0.0012
-0.0031	-0.0048	-0.0026	-0.0027	-0.0017	-0.0004	-0.0008	-0.0019	-0.0017	0.0005	0.0004	0.0014	0.0027	0.0023	0.0012	0.0022	0.0021	0.0031	0.0044	0.0040	0.0029	-0.0001	0.0009	0.0022	0.0018	0.0007
-0.0023	0.0003	-0.0002	0.0013	0.0006	-0.0020	-0.0011	0.0019	0.0026	0.0021	0.0036	0.0029	0.0003	0.0012	0.0042	-0.0005	0.0010	0.0003	-0.0023	-0.0014	0.0016	0.0015	0.0008	-0.0018	-0.0009	0.0021

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0013	0.0012	0.0016	0.0008	-0.0001	0.0003	-0.0005	0.0004	-0.0004	-0.0008	-0.0073
-0.0010	-0.0005	-0.0014	0.0007	0.0005	-0.0004	0.0017	-0.0009	0.0012	0.0021	-0.0053
0.0004	-0.0052	-0.0021	0.0001	-0.0056	-0.0025	-0.0003	0.0031	0.0053	0.0022	-0.0060
0.0012	-0.0035	-0.0005	0.0000	-0.0047	-0.0017	-0.0012	0.0030	0.0035	0.0005	-0.0060
0.0010	0.0023	0.0019	0.0008	0.0013	0.0009	-0.0002	-0.0004	-0.0015	-0.0011	-0.0079
-0.0007	-0.0033	-0.0024	0.0006	-0.0026	-0.0017	0.0013	0.0009	0.0039	0.0030	-0.0050

FINAL	ΔFINAL	FINAL-2H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão	3σ
322294.9358	-0.0002		0.0038	0.0036	-0.0005	0.0008	-0.0021	-0.0035	-0.0018	-0.0015	-0.0002	-0.0003	0.0001	-0.0007	0.0038	0.0022	0.00065
3613359.9548	-0.0002		-0.0005	-0.0003	-0.0003	0.0001	-0.0025	-0.0011	-0.0003	0.0003	-0.0007	-0.0002	-0.0011	0.0010	0.0028	0.0015	0.00039
18.5763	0.0015		0.0012	0.0033	0.0035	0.0004	0.0003	0.0030	0.0008	0.0025	0.0029	-0.0027	0.0004	0.0026	0.0035	0.0024	0.00071
5143649.5647	0.0012		0.0005	0.0039	0.0028	0.0004	0.0009	0.0020	0.0002	0.0014	0.0026	-0.0021	0.0009	0.0014	0.0039	0.0020	0.00059
-1562619.0147	-0.0006		0.0037	0.0025	-0.0014	0.0006	-0.0025	-0.0042	-0.0020	-0.0021	-0.0011	0.0002	-0.0002	-0.0013	-0.0042	0.0023	0.00068
3421069.2115	0.0007		0.0031	0.0015	0.0017	0.0004	-0.0019	0.0007	0.0002	0.0017	0.0010	-0.0016	-0.0007	0.0023	0.0031	0.0017	0.00050

1	08/03/2010 - 12_14
2	08/03/2010 - 19_21
3	09/03/2010 - 20_22
4	09/03/2010 - 22_24
5	10/03/2010 - 04_06
6	11/03/2010 - 15_17
7	16/03/2010 - 11_13
8	16/03/2010 - 18_20
9	17/03/2010 - 20_22
10	18/03/2010 - 09_11
11	18/03/2010 - 00_02
12	19/03/2010 - 03_05

Tabela A.2 - Duas horas



IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-4H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variação
UTM	322294.9302	322294.9371	322294.9369	322294.9321	322294.9367	322294.9367	322294.9363	322294.9367	322294.9366	322294.9363	322294.9358	322294.9363	<b>322294.9356</b>	0.0054	-0.0015	-0.0013	0.0035	-0.0011	-0.0011	-0.0007	-0.0011	-0.0010	-0.0007	-0.0002	-0.0007	0.0054	0.0022	0.0000
	3613359.9519	3613359.9564	3613359.9537	3613359.9554	3613359.9545	3613359.9548	3613359.9557	3613359.9545	3613359.9562	3613359.9562	3613359.9537	3613359.9562	<b>3613359.9549</b>	0.0050	-0.0015	0.0012	-0.0005	0.0004	0.0001	-0.0008	0.0004	-0.0013	-0.0013	0.0012	-0.0013	0.0030	0.0014	0.0000
ITRF93	18.5774	18.5723	18.5723	18.5746	18.5787	18.5749	18.5741	18.5767	18.5764	18.5736	18.5742	18.5736	<b>18.5748</b>	-0.0029	0.0026	0.0025	0.0032	<b>-0.0038</b>	-0.0011	0.0007	-0.0009	-0.0016	0.0012	0.0006	-0.0012	<b>-0.0039</b>	0.0019	0.0000
	5143649.5658	5143649.5611	5143649.5625	5143649.5620	5143649.5639	5143649.5639	5143649.5627	5143649.5647	5143649.5644	5143649.5620	5143649.5637	5143649.5620	<b>5143649.5635</b>	-0.0021	0.0024	0.0010	0.0015	<b>-0.0038</b>	-0.0004	0.0008	-0.0012	-0.0009	0.0015	-0.0002	0.0015	<b>-0.0036</b>	0.0018	0.0000
	-1562619.0205	-1562619.0120	-1562619.0126	-1562619.0175	-1562619.0142	-1562619.0132	-1562619.0133	-1562619.0135	-1562619.0135	-1562619.0131	-1562619.0141	-1562619.0131	<b>-1562619.0142</b>	0.0063	-0.0022	-0.0016	0.0033	0.0000	-0.0010	-0.0009	-0.0007	-0.0007	-0.0011	-0.0001	-0.0011	<b>0.0063</b>	0.0024	0.0000
	3421069.2095	3421069.2106	3421069.2083	3421069.2110	3421069.2125	3421069.2107	3421069.2110	3421069.2109	3421069.2127	3421069.2112	3421069.2094	3421069.2112	<b>3421069.2108</b>	0.0013	0.0002	0.0025	-0.0003	-0.0017	0.0000	-0.0003	-0.0001	-0.0019	-0.0004	0.0014	-0.0004	<b>0.0025</b>	0.0012	0.0000

$\Delta_{12}$	$\Delta_{13}$	$\Delta_{14}$	$\Delta_{15}$	$\Delta_{16}$	$\Delta_{17}$	$\Delta_{18}$	$\Delta_{19}$	$\Delta_{110}$	$\Delta_{111}$	$\Delta_{112}$	$\Delta_{23}$	$\Delta_{24}$	$\Delta_{25}$	$\Delta_{26}$	$\Delta_{27}$	$\Delta_{28}$	$\Delta_{29}$	$\Delta_{210}$	$\Delta_{211}$	$\Delta_{212}$	$\Delta_{34}$	$\Delta_{35}$	$\Delta_{36}$	$\Delta_{37}$	$\Delta_{38}$
-0.0069	-0.0067	-0.0019	-0.0065	-0.0065	-0.0061	-0.0065	-0.0064	-0.0061	-0.0056	-0.0061	0.0002	0.0050	0.0004	0.0004	0.0008	0.0004	0.0005	0.0008	0.0013	0.0008	0.0048	0.0002	0.0002	0.0006	0.0002
-0.0045	-0.0018	-0.0035	-0.0026	-0.0029	-0.0038	-0.0026	-0.0043	-0.0043	-0.0018	-0.0043	0.0027	0.0010	0.0019	0.0016	0.0007	0.0019	0.0002	0.0002	0.0027	0.0002	-0.0017	-0.0008	-0.0011	-0.0020	-0.0008
0.0051	0.0051	0.0028	-0.0013	0.0025	0.0033	0.0017	0.0010	0.0038	0.0032	0.0038	0.0000	-0.0023	-0.0064	-0.0026	-0.0018	-0.0034	-0.0041	-0.0013	-0.0019	-0.0013	-0.0023	-0.0064	-0.0026	-0.0018	-0.0034
0.0045	0.0031	0.0036	-0.0015	0.0017	0.0029	0.0009	0.0012	0.0036	0.0019	0.0036	-0.0014	-0.0009	-0.0060	-0.0028	-0.0016	-0.0036	-0.0033	-0.0009	-0.0026	-0.0009	0.0005	-0.0046	-0.0014	-0.0002	-0.0022
-0.0089	-0.0079	-0.0030	-0.0063	-0.0073	-0.0072	-0.0070	-0.0070	-0.0074	-0.0064	-0.0074	0.0006	0.0055	0.0022	0.0012	0.0013	0.0015	0.0015	0.0011	0.0021	0.0011	0.0049	0.0016	0.0006	0.0007	0.0009
-0.0011	0.0012	-0.0015	-0.0030	-0.0012	-0.0015	-0.0014	-0.0032	-0.0017	0.0001	-0.0017	0.0023	-0.0004	-0.0019	-0.0001	-0.0004	-0.0003	-0.0021	-0.0006	0.0012	-0.0006	-0.0027	-0.0042	-0.0024	-0.0027	-0.0028

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
-0.0046	-0.0046	-0.0042	-0.0046	-0.0045	-0.0042	-0.0037	-0.0042	0.0000	0.0004	0.0000	0.0001	0.0004	0.0009	0.0004	0.0004	0.0000	0.0001	0.0004	0.0009	0.0004	-0.0004	-0.0003	0.0000	0.0005	0.0000
0.0009	0.0006	-0.0003	0.0009	-0.0008	-0.0008	0.0017	-0.0008	-0.0003	-0.0012	0.0000	-0.0017	-0.0017	0.0008	-0.0017	-0.0009	0.0003	-0.0014	-0.0014	0.0011	-0.0014	0.0012	-0.0005	-0.0005	0.0020	-0.0005
-0.0041	-0.0003	0.0005	-0.0011	-0.0018	0.0010	0.0004	0.0010	0.0038	0.0046	0.0030	0.0023	0.0051	0.0045	0.0051	0.0008	-0.0008	-0.0015	0.0013	0.0007	0.0013	-0.0016	-0.0023	0.0005	-0.0001	0.0005
-0.0051	-0.0019	-0.0007	-0.0027	-0.0024	0.0000	-0.0017	0.0000	0.0032	0.0044	0.0024	0.0027	0.0051	0.0034	0.0051	0.0012	-0.0008	-0.0005	0.0019	0.0002	0.0019	-0.0020	-0.0017	0.0007	-0.0010	0.0007
-0.0033	-0.0043	-0.0042	-0.0040	-0.0040	-0.0044	-0.0034	-0.0044	-0.0010	-0.0009	-0.0007	-0.0007	-0.0011	-0.0001	-0.0011	0.0001	0.0003	0.0003	-0.0001	0.0009	-0.0001	0.0002	0.0002	-0.0002	0.0008	-0.0002
-0.0015	0.0003	0.0000	0.0001	-0.0017	-0.0002	0.0016	-0.0002	0.0018	0.0015	0.0016	-0.0002	0.0013	0.0031	0.0013	-0.0003	-0.0002	-0.0020	-0.0005	0.0013	-0.0005	0.0001	-0.0017	-0.0002	0.0016	-0.0002

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0001	0.0004	0.0009	0.0004	0.0003	0.0008	0.0003	0.0005	0.0000	-0.0005	-0.0069
-0.0017	-0.0017	0.0008	-0.0017	0.0000	0.0025	0.0000	0.0025	0.0000	-0.0025	-0.0045
-0.0007	0.0021	0.0015	0.0021	0.0028	0.0022	0.0028	-0.0006	0.0000	0.0006	-0.0064
0.0003	0.0027	0.0010	0.0027	0.0024	0.0007	0.0024	-0.0017	0.0000	0.0017	-0.0060
0.0000	-0.0004	0.0006	-0.0004	0.0006	-0.0004	0.0010	0.0000	-0.0010	-0.0010	-0.0085
-0.0018	-0.0003	0.0015	-0.0003	0.0015	0.0033	0.0015	0.0018	0.0000	-0.0018	-0.0042

FINAL	ΔFINAL	FINAL-4H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0015	-0.0001	0.0054	-0.0015	-0.0013	0.0035	-0.0011	-0.0011	-0.0007	-0.0011	-0.0010	-0.0007	-0.0002	-0.0007	0.0054	0.0022
3613359.9548	-0.0001	-0.0001	0.0029	-0.0016	0.0011	-0.0006	0.0003	0.0000	-0.0009	0.0003	-0.0014	-0.0014	0.0011	-0.0014	0.0029	0.0014
18.5763	0.0014	0.0014	-0.0011	0.0040	0.0040	0.0017	-0.0024	0.0014	0.0022	0.0006	-0.0001	0.0027	0.0021	0.0027	0.0040	0.0025
5143649.5647	0.0012	0.0012	-0.0009	0.0036	0.0022	0.0027	-0.0024	0.0008	0.0020	0.0000	0.0003	0.0027	0.0010	0.0027	0.0036	0.0022
-1562619.0147	-0.0005	-0.0005	0.0058	-0.0027	-0.0021	0.0028	-0.0005	-0.0015	-0.0014	-0.0012	-0.0012	-0.0016	-0.0006	-0.0016	0.0058	0.0024
3421069.2115	0.0007	0.0007	0.0020	0.0009	0.0032	0.0005	-0.0010	0.0006	0.0005	0.0006	-0.0012	0.0003	0.0021	0.0003	0.0032	0.0014

- 08/03/2010 - 12\_16
- 09/03/2010 - 04\_08
- 10/03/2010 - 10\_14
- 11/03/2010 - 01\_05
- 11/03/2010 - 06\_10
- 16/03/2010 - 13\_17
- 16/03/2010 - 20\_24
- 17/03/2010 - 06\_10
- 18/03/2010 - 06\_10
- 18/03/2010 - 11\_15
- 19/03/2010 - 01\_05
- 19/03/2010 - 07\_11

Tabela A.3 - Quatro horas

IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-6H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variação
UTM	322294.9306	322294.9369	322294.9354	322294.9349	322294.9336	322294.9356	322294.9369	322294.9365	322294.9370	322294.9360	322294.9354	322294.9364	322294.9354	0.0048	-0.0015	0.0000	0.0005	0.0018	-0.0002	-0.0015	-0.0011	-0.0016	-0.0006	0.0000	-0.0010	0.0048	0.0018	0.0000
	3613359.9521	3613359.9558	3613359.9549	3613359.9561	3613359.9539	3613359.9563	3613359.9544	3613359.9550	3613359.9555	3613359.9549	3613359.9523	3613359.9564	3613359.9548	0.0027	-0.0010	-0.0001	-0.0013	0.0009	-0.0015	0.0004	-0.0002	-0.0007	-0.0001	0.0025	-0.0016	0.0027	0.0014	0.0000
	18.5766	18.5732	18.5720	18.5729	18.5769	18.5814	18.5745	18.5744	18.5750	18.5779	18.5758	18.5727	18.5764	-0.0022	0.0032	-0.0028	-0.0015	-0.0005	-0.0060	0.0019	0.0020	0.0014	-0.0015	-0.0006	-0.0037	-0.0050	0.0025	0.0000
ITRF93	5143649.5666	5143649.5620	5143649.5668	5143649.5651	5143649.5651	5143649.5681	5143649.5639	5143649.5634	5143649.5637	5143649.5660	5143649.5655	5143649.5612	5143649.5648	-0.0018	0.0028	-0.0020	-0.0003	-0.0003	-0.0033	0.0009	0.0014	0.0011	-0.0012	-0.0007	0.0036	0.0036	0.0020	0.0000
	-1562619.0204	-1562619.0124	-1562619.0155	-1562619.0156	-1562619.0169	-1562619.0156	-1562619.0131	-1562619.0133	-1562619.0129	-1562619.0146	-1562619.0151	-1562619.0128	-1562619.0149	0.0056	-0.0025	0.0007	0.0008	0.0021	0.0008	-0.0017	-0.0015	-0.0019	-0.0002	0.0003	-0.0021	0.0056	0.0023	0.0000
	3421069.2104	3421069.2106	3421069.2130	3421069.2133	3421069.2109	3421069.2155	3421069.2102	3421069.2106	3421069.2114	3421069.2124	3421069.2091	3421069.2108	3421069.2115	0.0011	0.0009	-0.0015	-0.0018	0.0006	-0.0040	0.0013	0.0009	0.0001	-0.0009	0.0024	0.0007	-0.0040	0.0017	0.0000

Δ12	Δ13	Δ14	Δ15	Δ16	Δ17	Δ18	Δ19	Δ110	Δ111	Δ112	Δ23	Δ24	Δ25	Δ26	Δ27	Δ28	Δ29	Δ210	Δ211	Δ212	Δ34	Δ35	Δ36	Δ37	Δ38
-0.0063	-0.0048	-0.0043	-0.0030	-0.0050	-0.0063	-0.0059	-0.0064	-0.0054	-0.0048	-0.0058	0.0015	0.0020	0.0033	0.0013	0.0000	0.0004	-0.0001	0.0009	0.0015	0.0005	0.0005	0.0018	-0.0002	-0.0015	-0.0011
-0.0037	-0.0028	-0.0040	-0.0018	-0.0042	-0.0023	-0.0029	-0.0034	-0.0028	-0.0002	-0.0043	0.0009	-0.0003	0.0019	-0.0005	0.0014	0.0008	0.0003	0.0009	0.0035	-0.0006	-0.0012	0.0010	-0.0014	0.0005	-0.0001
0.0054	-0.0004	0.0007	0.0017	-0.0028	0.0041	0.0042	0.0036	0.0007	0.0026	0.0059	-0.0058	-0.0047	-0.0037	-0.0082	-0.0013	-0.0012	-0.0018	-0.0047	-0.0026	0.0005	0.0011	0.0021	-0.0024	0.0045	0.0046
0.0046	-0.0002	0.0015	-0.0015	0.0027	0.0032	0.0029	0.0006	0.0011	0.0054	-0.0048	-0.0031	-0.0031	-0.0061	-0.0019	-0.0014	-0.0017	-0.0040	-0.0035	0.0008	0.0017	0.0017	-0.0013	0.0029	0.0034	
-0.0080	-0.0049	-0.0048	-0.0035	-0.0048	-0.0073	-0.0071	-0.0075	-0.0058	-0.0053	-0.0076	0.0031	0.0032	0.0045	0.0032	0.0007	0.0009	0.0005	0.0022	0.0027	0.0004	0.0001	0.0014	0.0001	-0.0024	-0.0022
-0.0002	-0.0026	-0.0029	-0.0005	-0.0051	0.0002	-0.0002	-0.0010	-0.0020	0.0013	-0.0004	-0.0024	-0.0027	-0.0003	-0.0049	0.0004	0.0000	-0.0008	-0.0018	0.0015	-0.0002	-0.0003	0.0021	-0.0025	-0.0028	0.0024

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
0.0013	-0.0007	-0.0020	-0.0016	-0.0021	-0.0011	-0.0005	-0.0015	-0.0020	-0.0033	-0.0029	-0.0034	-0.0024	-0.0019	-0.0028	-0.0013	-0.0009	-0.0014	-0.0004	0.0002	-0.0008	0.0004	-0.0001	0.0009	0.0015	0.0005
0.0022	-0.0002	0.0017	0.0011	0.0006	0.0012	0.0038	-0.0003	-0.0024	-0.0005	-0.0011	-0.0016	-0.0010	0.0016	-0.0025	0.0019	0.0013	0.0008	0.0014	0.0040	-0.0001	-0.0006	-0.0011	-0.0005	0.0021	-0.0020
0.0010	-0.0035	0.0034	0.0035	0.0029	0.0000	0.0021	0.0052	-0.0045	0.0024	0.0025	0.0019	-0.0010	0.0011	0.0042	0.0069	0.0070	0.0064	0.0035	0.0056	0.0087	0.0001	-0.0005	-0.0034	-0.0013	0.0018
0.0000	-0.0030	0.0012	0.0017	0.0014	-0.0009	-0.0004	0.0039	-0.0030	0.0012	0.0017	0.0014	-0.0009	-0.0004	0.0039	0.0042	0.0047	0.0044	0.0021	0.0026	0.0069	0.0005	0.0002	-0.0021	-0.0016	0.0027
0.0013	0.0000	-0.0025	-0.0023	-0.0027	-0.0010	-0.0005	-0.0028	-0.0013	-0.0038	-0.0036	-0.0040	-0.0023	-0.0018	-0.0041	-0.0025	-0.0023	-0.0027	-0.0010	-0.0005	-0.0028	0.0002	-0.0002	0.0015	0.0020	-0.0003
0.0024	-0.0022	0.0031	0.0027	0.0019	0.0009	0.0042	0.0025	-0.0046	0.0007	0.0003	-0.0005	-0.0015	0.0018	0.0001	0.0053	0.0049	0.0041	0.0031	0.0064	0.0047	-0.0004	-0.0012	-0.0022	0.0011	-0.0006

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
-0.0005	0.0005	0.0011	0.0001	0.0010	0.0016	0.0006	0.0006	-0.0004	-0.0010	-0.0064
-0.0005	0.0001	0.0027	-0.0014	0.0006	0.0032	-0.0009	0.0026	-0.0015	-0.0041	-0.0043
-0.0006	-0.0035	-0.0014	0.0017	-0.0029	-0.0008	0.0023	0.0021	0.0052	0.0031	0.0087
-0.0003	-0.0026	-0.0021	0.0022	-0.0023	-0.0018	0.0025	0.0005	0.0048	0.0043	0.0069
-0.0004	0.0013	0.0018	-0.0005	0.0017	0.0022	-0.0001	0.0005	-0.0018	-0.0023	-0.0080
-0.0008	-0.0018	0.0015	-0.0002	-0.0010	0.0023	0.0006	0.0033	0.0018	-0.0017	0.0064

FINAL	ΔFINAL-6H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0001	0.0050	-0.0013	0.0002	0.0007	0.0020	0.0000	-0.0013	-0.0009	-0.0014	-0.0004	0.0002	-0.0008	0.0050	0.0016
3613359.9548	0.0000	0.0027	-0.0010	-0.0001	-0.0013	0.0009	-0.0015	0.0004	-0.0002	-0.0007	-0.0001	0.0025	-0.0016	0.0027	0.0014
18.5763	-0.0002	-0.0023	0.0031	-0.0027	-0.0016	-0.0006	-0.0051	0.0018	0.0019	0.0013	-0.0016	0.0005	0.0036	-0.0051	0.0026
5143649.5647	-0.0001	-0.0019	0.0027	-0.0021	-0.0004	-0.0004	-0.0034	0.0008	0.0013	0.0010	-0.0013	-0.0008	0.0035	0.0035	0.0020
-1562619.0147	0.0002	0.0057	-0.0023	0.0008	0.0009	0.0022	0.0009	-0.0016	-0.0014	-0.0018	-0.0001	0.0004	-0.0019	0.0057	0.0023
3421069.2115	-0.0001	0.0011	0.0009	-0.0015	-0.0018	0.0006	-0.0040	0.0013	0.0008	0.0001	-0.0009	0.0024	0.0007	-0.0040	0.0017

- 1
- 08/03/2010 - 11\_17
- 2
- 09/03/2010 - 04\_10
- 3
- 10/03/2010 - 06\_15
- 4
- 10/03/2010 - 18\_24
- 5
- 11/03/2010 - 02\_08
- 6
- 11/03/2010 - 08\_14
- 7
- 16/03/2010 - 12\_18
- 8
- 16/03/2010 - 12\_18
- 9
- 17/03/2010 - 00\_06
- 10
- 18/03/2010 - 07\_13
- 11
- 18/03/2010 - 14\_20
- 12
- 19/03/2010 - 05\_11

Tabela A.4 - Seis horas

IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-12H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variação
UTM	322294.9318	322294.9369	322294.9359	322294.9362	322294.9340	322294.9343	322294.9367	322294.9369	322294.9361	322294.9371	322294.9357	322294.9361	322294.9356	0.0038	-0.0013	-0.0003	-0.0006	0.0016	0.0013	-0.0011	-0.0013	-0.0005	-0.0015	-0.0001	-0.0005	0.0038	0.0016	0.0000
	3613359.9531	3613359.9551	3613359.9548	3613359.9566	3613359.9554	3613359.9562	3613359.9547	3613359.9554	3613359.9545	3613359.9563	3613359.9530	3613359.9551	3613359.9550	0.0019	-0.0001	0.0002	-0.0016	-0.0004	-0.0012	0.0003	-0.0004	0.0005	-0.0013	0.0020	-0.0001	0.0020	0.0011	0.0000
	18.5777	18.5744	18.5754	18.5768	18.5769	18.5777	18.5745	18.5748	18.5750	18.5757	18.5763	18.5739	18.5768	-0.0019	0.0014	0.0004	-0.0010	-0.0011	0.0010	0.0013	0.0010	0.0006	0.0000	-0.0005	0.0019	-0.0019	0.0013	0.0000
ITRF93	5143649.5656	5143649.5634	5143649.5640	5143649.5644	5143649.5644	5143649.5647	5143649.5636	5143649.5636	5143649.5640	5143649.5639	5143649.5657	5143649.5628	5143649.5642	-0.0014	0.0008	0.0002	-0.0002	-0.0005	0.0006	0.0006	0.0002	0.0003	0.0015	0.0014	-0.0015	0.0009	0.0000	0.0000
	-1562619.0189	-1562619.0129	-1562619.0141	-1562619.0139	-1562619.0163	-1562619.0161	-1562619.0132	-1562619.0130	-1562619.0139	-1562619.0129	-1562619.0148	-1562619.0136	-1562619.0145	0.0044	-0.0016	-0.0004	-0.0006	0.0018	0.0016	-0.0013	-0.0015	-0.0006	-0.0016	0.0003	-0.0009	0.0044	0.0018	0.0000
	3421069.2107	3421069.2107	3421069.2109	3421069.2133	3421069.2123	3421069.2134	3421069.2104	3421069.2111	3421069.2105	3421069.2124	3421069.2099	3421069.2104	3421069.2113	0.0006	0.0006	0.0004	-0.0020	-0.0010	-0.0021	0.0009	0.0002	0.0008	-0.0011	0.0014	0.0009	-0.0021	0.0012	0.0000

Δ12	Δ13	Δ14	Δ15	Δ16	Δ17	Δ18	Δ19	Δ110	Δ111	Δ112	Δ23	Δ24	Δ25	Δ26	Δ27	Δ28	Δ29	Δ210	Δ211	Δ212	Δ34	Δ35	Δ36	Δ37	Δ38
-0.0051	-0.0041	-0.0044	-0.0022	-0.0025	-0.0049	-0.0051	-0.0043	-0.0053	-0.0039	-0.0043	0.0010	0.0007	0.0029	0.0026	0.0022	0.0000	0.0008	-0.0002	0.0012	0.0008	-0.0003	0.0019	0.0016	-0.0008	-0.0010
-0.0020	-0.0017	-0.0035	-0.0023	-0.0031	-0.0016	-0.0023	-0.0014	-0.0032	0.0001	-0.0020	0.0003	-0.0015	-0.0003	-0.0011	0.0004	-0.0003	0.0006	-0.0012	0.0021	0.0000	-0.0018	-0.0006	-0.0014	0.0001	-0.0006
0.0033	0.0023	0.0009	0.0008	0.0000	0.0032	0.0029	0.0027	0.0020	0.0014	0.0038	-0.0010	-0.0024	-0.0025	-0.0033	-0.0001	-0.0004	-0.0006	-0.0013	-0.0019	0.0005	-0.0014	-0.0015	-0.0023	0.0009	0.0006
0.0022	0.0016	0.0012	0.0012	0.0009	0.0020	0.0020	0.0016	0.0017	-0.0001	0.0028	-0.0006	-0.0010	-0.0010	-0.0013	-0.0002	-0.0006	-0.0005	-0.0023	0.0006	-0.0004	-0.0004	-0.0007	0.0004	0.0004	0.0004
-0.0060	-0.0048	-0.0050	-0.0026	-0.0028	-0.0057	-0.0059	-0.0050	-0.0060	-0.0041	-0.0053	0.0012	0.0010	0.0034	0.0032	0.0003	0.0001	0.0010	0.0000	0.0019	0.0007	-0.0002	0.0022	0.0020	-0.0009	-0.0011
0.0000	-0.0002	-0.0026	-0.0016	-0.0027	0.0003	-0.0004	0.0002	-0.0017	0.0008	0.0003	-0.0002	-0.0026	-0.0016	-0.0027	0.0003	-0.0004	0.0002	-0.0017	0.0008	0.0003	-0.0024	-0.0014	-0.0025	-0.0005	-0.0002

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
0.0022	0.0019	-0.0005	-0.0007	0.0001	-0.0009	0.0005	0.0001	-0.0003	-0.0027	-0.0029	-0.0021	-0.0021	-0.0017	-0.0021	-0.0024	-0.0026	-0.0019	-0.0028	-0.0014	-0.0018	-0.0002	0.0006	-0.0004	0.0010	0.0006
0.0012	0.0004	0.0019	0.0012	0.0021	0.0003	0.0036	0.0015	-0.0008	0.0007	0.0000	0.0009	-0.0009	0.0024	0.0003	0.0015	0.0008	0.0017	-0.0001	0.0032	0.0011	-0.0007	0.0002	-0.0016	0.0017	-0.0004
-0.0001	-0.0009	0.0023	0.0020	0.0018	0.0011	0.0005	0.0029	-0.0008	0.0024	0.0021	0.0019	0.0012	0.0006	0.0030	0.0032	0.0029	0.0027	0.0020	0.0014	0.0038	-0.0003	-0.0005	-0.0012	-0.0018	0.0006
0.0000	-0.0003	0.0008	0.0008	0.0004	0.0005	-0.0013	0.0016	-0.0003	0.0008	0.0008	0.0004	0.0005	-0.0013	0.0016	0.0011	0.0011	0.0007	0.0008	-0.0010	0.0019	0.0000	-0.0004	-0.0003	-0.0021	0.0008
0.0024	0.0022	-0.0007	-0.0009	0.0000	-0.0010	0.0009	-0.0003	-0.0002	-0.0031	-0.0033	-0.0024	-0.0034	-0.0015	-0.0027	-0.0029	-0.0031	-0.0022	-0.0032	-0.0013	-0.0025	-0.0002	0.0007	-0.0003	0.0016	0.0004
0.0010	-0.0001	0.0029	0.0022	0.0028	0.0009	0.0034	0.0029	-0.0011	0.0019	0.0012	0.0018	-0.0001	0.0024	0.0019	0.0030	0.0023	0.0029	0.0010	0.0035	0.0030	-0.0007	-0.0001	-0.0020	0.0005	0.0000

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0008	-0.0002	0.0012	0.0008	-0.0010	0.0004	0.0000	0.0014	0.0010	-0.0004	-0.0053
0.0009	-0.0009	0.0024	0.0003	-0.0018	0.0015	-0.0006	0.0033	0.0012	-0.0021	0.0036
-0.0002	-0.0009	-0.0015	0.0009	-0.0007	-0.0013	0.0011	-0.0006	0.0018	0.0024	0.0038
-0.0004	-0.0003	-0.0021	0.0008	0.0001	-0.0017	0.0012	-0.0018	0.0011	0.0029	0.0029
0.0009	-0.0001	0.0018	0.0006	-0.0010	0.0009	-0.0003	0.0019	0.0007	-0.0012	-0.0060
0.0006	-0.0013	0.0012	0.0007	-0.0019	0.0006	0.0001	0.0025	0.0020	-0.0005	0.0035

FINAL	ΔFINAL-12H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0013	0.0038	-0.0013	-0.0003	-0.0006	0.0016	0.0013	-0.0011	-0.0013	-0.0005	-0.0015	-0.0001	-0.0005	0.0038	0.0016
3613359.9548	-0.0002	0.0017	-0.0003	0.0000	-0.0018	-0.0006	-0.0014	0.0001	-0.0006	0.0003	-0.0015	0.0018	-0.0003	0.0018	0.0011
18.5763	0.0005	-0.0014	0.0019	0.0009	-0.0005	-0.0006	-0.0014	0.0018	0.0015	0.0013	0.0006	0.0000	0.0024	0.0024	0.0014
5143649.5647	0.0005	-0.0009	0.0013	0.0007	0.0003	0.0003	0.0000	0.0011	0.0011	0.0007	0.0008	-0.0010	0.0019	0.0019	0.0010
-1562619.0147	-0.0002	0.0042	-0.0018	-0.0006	-0.0008	0.0016	0.0014	-0.0015	-0.0017	-0.0008	-0.0018	0.0001	-0.0011	0.0042	0.0018
3421069.2115	0.0001	0.0008	0.0006	0.0006	-0.0018	-0.0008	-0.0018	0.0011	0.0004	0.0010	-0.0009	0.0016	0.0011	-0.0019	0.0012

- 1
- 08/03/2010 - 11\_23
- 2
- 09/03/2010 - 0\_12
- 3
- 09/03/2010 - 12\_24
- 4
- 10/03/2010 - 05\_17
- 5
- 10/03/2010\_11/03/2010 - 18\_06
- 6
- 11/03/2010 - 00\_12
- 7
- 16/03/2010 - 12\_24
- 8
- 17/03/2010 - 00\_12
- 9
- 17/03/2010 - 12\_24
- 10
- 18/03/2010 - 00\_12
- 11
- 18/03/2010 - 12\_24
- 12
- 18/03/2010\_19/03/2010 - 23\_11

Tabela A.5 - Doze horas

IGP	1	2	4	5	6	7	FINAL-24H	Δ1	Δ2	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	ΔMAX	Desvio Padrão	Variação
UTM	322294.9342	322294.9364	322294.9367	322294.9365	322294.9364	322294.9359	322294.9360	0.0018	-0.0004	-0.0007	-0.0005	-0.0004	0.0001	0.0018	0.0009	0.0000
	3613359.9538	3613359.9549	3613359.9548	3613359.9549	3613359.9544	3613359.9539	3613359.9545	0.0007	-0.0004	-0.0003	-0.0004	0.0000	0.0005	0.0007	0.0005	0.0000
	18.5763	18.5749	18.5746	18.5750	18.5763	18.5756	18.5755	-0.0008	0.0006	0.0009	0.0005	-0.0008	-0.0001	0.0009	0.0007	0.0000
ITRF93	5143649.5648	5143649.5638	5143649.5637	5143649.5639	5143649.5651	5143649.5647	5143649.5643	-0.0005	0.0005	0.0006	0.0004	-0.0008	-0.0004	-0.0008	0.0006	0.0000
	-1562619.0162	-1562619.0135	-1562619.0132	-1562619.0134	-1562619.0140	-1562619.0143	-1562619.0141	0.0021	-0.0006	-0.0009	-0.0007	-0.0001	0.0002	0.0021	0.0011	0.0000
	3421069.2106	3421069.2108	3421069.2105	3421069.2108	3421069.2111	3421069.2103	3421069.2107	0.0001	-0.0001	0.0002	-0.0001	-0.0004	0.0004	-0.0004	0.0003	0.0000

Δ12	Δ14	Δ15	Δ16	Δ17	Δ24	Δ25	Δ26	Δ27	Δ45	Δ46	Δ47	Δ56	Δ57	Δ67	Δ
-0.0022	-0.0025	-0.0023	-0.0022	-0.0017	-0.0003	-0.0001	0.0000	0.0005	0.0002	0.0003	0.0008	0.0001	0.0006	0.0005	-0.0025
-0.0011	-0.0010	-0.0011	-0.0006	-0.0001	0.0001	0.0000	0.0005	0.0010	-0.0001	0.0004	0.0009	0.0005	0.0010	0.0005	-0.0011
0.0014	0.0017	0.0013	0.0000	0.0007	0.0003	-0.0001	-0.0014	-0.0007	-0.0004	-0.0017	-0.0010	-0.0013	-0.0006	0.0007	0.0017
0.0010	0.0011	0.0009	-0.0003	0.0001	0.0001	-0.0001	-0.0013	-0.0009	-0.0002	-0.0014	-0.0010	-0.0012	-0.0008	0.0004	-0.0014
-0.0027	-0.0030	-0.0028	-0.0022	-0.0019	-0.0003	-0.0001	0.0005	0.0008	0.0002	0.0008	0.0011	0.0006	0.0009	0.0003	-0.0030
-0.0002	0.0001	-0.0002	-0.0005	0.0003	0.0003	0.0000	-0.0003	0.0005	-0.0003	-0.0006	0.0002	-0.0003	0.0005	0.0008	0.0008

FINAL	ΔFINAL	FINAL-24H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0004		0.0014	-0.0008	-0.0011	-0.0009	-0.0008	-0.0003	0.0014	0.0011
3613359.9548	0.0004		0.0010	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0004	-0.0009	0.0010	0.0007
18.5763	0.0008		0.0000	0.0014	0.0017	0.0013	0.0000	0.0007	0.0017	0.0012
5143649.5647	0.0003		0.0001	0.0009	0.0010	0.0008	-0.0004	0.0000	0.0010	0.0007
-1562619.0147	-0.0008		0.0015	-0.0012	-0.0015	-0.0013	-0.0007	-0.0004	0.0015	0.0013
3421069.2115	0.0008		0.0009	0.0007	0.0010	0.0007	0.0004	0.0012	0.0012	0.0009

- 1
- 08/03/2010\_09/03/2010 - 11\_11
- 2
- 09/03/2010 - 00\_24
- 3
- 16/03/2010\_17/03/2010 - 11\_11
- 4
- 17/03/2010 - 00\_24
- 5
- 18/03/2010 - 00\_24
- 6
- 18/03/2010\_19/03/2010 - 11\_11

Tabela A.6 - Vinte e quatro horas

Período	1 Hora	2 Horas	4 Horas	6 Horas	12 Horas	24 Horas	Global
$\Delta E$	0.0058	0.0038	0.0054	0.0050	0.0038	0.0014	-0.0008
$\Delta N$	-0.0025	0.0028	0.0029	0.0027	0.0018	0.0010	-0.0004
$\Delta h$	-0.0073	0.0035	0.0040	-0.0051	0.0024	0.0017	-0.0010
$\Delta X$	-0.0051	0.0039	0.0036	0.0035	0.0019	0.0010	0.0006
$\Delta Y$	0.0075	-0.0042	0.0058	0.0057	0.0042	0.0015	-0.0011
$\Delta Z$	0.0025	0.0031	0.0032	-0.0040	-0.0019	0.0012	-0.0009
Desvio Padrão Max (UTM)	0.0033	0.0024	0.0025	0.0026	0.0016	0.0012	0.0010

Tabela A.7 - Resumo



## Anexo B





```
%Mário Pedro Moreira Pereira
%Rotina para Análise do Sinal na Atracagem
%Doutoramento em Engenharia Geográfica
%Departamento de Geociências e Ordenamento do Território
%Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Rotina Matlab para cálculo das elipses e elipsoides de erro      %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
function [h,C]=error_ellipse(varargin)
% ERROR_ELLIPSE - plot an error ellipse, or ellipsoid, defining
confidence region
%   ERROR_ELLIPSE(C22) - Given a 2x2 covariance matrix, plot the
%   associated error ellipse, at the origin. It returns a graphics
handle
%   of the ellipse that was drawn.
%
%   ERROR_ELLIPSE(C33) - Given a 3x3 covariance matrix, plot the
%   associated error ellipsoid, at the origin, as well as its
projections
%   onto the three axes. Returns a vector of 4 graphics handles, for the
%   three ellipses (in the X-Y, Y-Z, and Z-X planes, respectively) and
for
%   the ellipsoid.
%
%   ERROR_ELLIPSE(C,MU) - Plot the ellipse, or ellipsoid, centered at
MU,
%   a vector whose length should match that of C (which is 2x2 or 3x3).
%
%   ERROR_ELLIPSE(...,'Property1',Value1,'Name2',Value2,...) sets the
%   values of specified properties, including:
%   'C' - Alternate method of specifying the covariance matrix
%   'mu' - Alternate method of specifying the ellipse (-oid) center
%   'conf' - A value between 0 and 1 specifying the confidence
interval.
%   the default is 0.5 which is the 50% error ellipse.
%   'scale' - Allow the plot the be scaled to difference units.
%   'style' - A plotting style used to format ellipses.
%   'clip' - specifies a clipping radius. Portions of the ellipse, -
oid,
%   outside the radius will not be shown.
%
%   NOTES: C must be positive definite for this function to work
properly.
```

```
default_properties = struct(...
    'C', 1.0e-005*[0.680265152834596    0.156098474757991
    0.156098474757991    0.404083329720712], ... % The covaraince matrix
(required)
    'mu', [], ... % Center of ellipse (optional)
    'conf', 0.99, ... % Percent confidence/100
    'scale', 1, ... % Scale factor, e.g. 1e-3 to plot m as km
    'style', '', ... % Plot style
    'clip', inf); % Clipping radius
```

```

if length(varargin) >= 1 & isnumeric(varargin{1})
    default_properties.C = varargin{1};
    varargin(1) = [];
end

if length(varargin) >= 1 & isnumeric(varargin{1})
    default_properties.mu = varargin{1};
    varargin(1) = [];
end

if length(varargin) >= 1 & isnumeric(varargin{1})
    default_properties.conf = varargin{1};
    varargin(1) = [];
end

if length(varargin) >= 1 & isnumeric(varargin{1})
    default_properties.scale = varargin{1};
    varargin(1) = [];
end

if length(varargin) >= 1 & ~ischar(varargin{1})
    error('Invalid parameter/value pair arguments.')
end

prop = getopt(default_properties, varargin{:});
C = prop.C;

if isempty(prop.mu)
    mu = zeros(length(C),1);
else
    mu = prop.mu;
end

conf = prop.conf;
scale = prop.scale;
style = prop.style;

if conf <= 0 | conf >= 1
    error('conf parameter must be in range 0 to 1, exclusive')
end

[r,c] = size(C);
if r ~= c | (r ~= 2 & r ~= 3)
    error(['Don't know what to do with ',num2str(r),'x',num2str(c),'
matrix'])
end

x0=mu(1);
y0=mu(2);

% Compute quantile for the desired percentile
k = sqrt(qchisq(conf,r)); % r is the number of dimensions (degrees of
freedom)

```

```

hold_state = get(gca,'nextplot');

if r==3 & c==3
    z0=mu(3);

    % Make the matrix has positive eigenvalues - else it's not a valid
    covariance matrix!
    if any(eig(C) <=0)
        error('The covariance matrix must be positive definite (it has non-
positive eigenvalues)')
    end

    % C is 3x3; extract the 2x2 matrices, and plot the associated error
    % ellipses. They are drawn in space, around the ellipsoid; it may be
    % preferable to draw them on the axes.
    Cxy = C(1:2,1:2);
    Cyz = C(2:3,2:3);
    Czx = C([3 1],[3 1]);

    [x,y,z] = getpoints(Cxy,prop.clip);
    h1=plot3(x0+k*x,y0+k*y,z0+k*z,prop.style);hold on
    [y,z,x] = getpoints(Cyz,prop.clip);
    h2=plot3(x0+k*x,y0+k*y,z0+k*z,prop.style);hold on
    [z,x,y] = getpoints(Czx,prop.clip);
    h3=plot3(x0+k*x,y0+k*y,z0+k*z,prop.style);hold on

    [eigvec,eigval] = eig(C);

    [X,Y,Z] = ellipsoid(0,0,0,1,1,1);
    XYZ = [X(:),Y(:),Z(:)]*sqrt(eigval)*eigvec';

    X(:) = scale*(k*XYZ(:,1)+x0);
    Y(:) = scale*(k*XYZ(:,2)+y0);
    Z(:) = scale*(k*XYZ(:,3)+z0);
    h4=surf(X,Y,Z);
    colormap gray
    alpha(0.3)
    camlight
    if nargin
        h=[h1 h2 h3 h4];
    end
elseif r==2 & c==2
    % Make the matrix has positive eigenvalues - else it's not a valid
    covariance matrix!
    if any(eig(C) <=0)
        error('The covariance matrix must be positive definite (it has non-
positive eigenvalues)')
    end

    [x,y,z] = getpoints(C,prop.clip);
    h1=plot(scale*(x0+k*x),scale*(y0+k*y),prop.style);
    set(h1,'zdata',z+1)
    if nargin

```

```

        h=h1;
    end
else
    error('C (covaraince matrix) must be specified as a 2x2 or 3x3
matrix')
end
%axis equal
hold on;title('Elipsoide de Erro 99%');xlabel('Easting
(m)');ylabel('North (m)');zlabel('h (m)');
set(gca,'nextplot',hold_state);

%-----
% getpoints - Generate x and y points that define an ellipse, given a 2x2
%   covariance matrix, C. z, if requested, is all zeros with same shape
%   as
%   x and y.
function [x,y,z] = getpoints(C,clipping_radius)

n=100; % Number of points around ellipse
p=0:pi/n:2*pi; % angles around a circle

[eigvec,eigval] = eig(C); % Compute eigen-stuff
xy = [cos(p'),sin(p')] * sqrt(eigval) * eigvec'; % Transformation
x = xy(:,1);
y = xy(:,2);
z = zeros(size(x));

% Clip data to a bounding radius
if nargin >= 2
    r = sqrt(sum(xy.^2,2)); % Euclidian distance (distance from center)
    x(r > clipping_radius) = nan;
    y(r > clipping_radius) = nan;
    z(r > clipping_radius) = nan;
end

%-----
function x=qchisq(P,n)
% QCHISQ(P,N) - quantile of the chi-square distribution.
if nargin<2
    n=1;
end

s0 = P==0;
s1 = P==1;
s = P>0 & P<1;
x = 0.5*ones(size(P));
x(s0) = -inf;
x(s1) = inf;
x(~(s0|s1|s))=nan;

for ii=1:14
    dx = -(pchisq(x(s),n)-P(s))./dchisq(x(s),n);
    x(s) = x(s)+dx;
    if all(abs(dx) < 1e-6)
        break;
    end
end

```

```

end

%-----
function F=pchisq(x,n)
% PCHISQ(X,N) - Probability function of the chi-square distribution.
if nargin<2
    n=1;
end
F=zeros(size(x));

if rem(n,2) == 0
    s = x>0;
    k = 0;
    for jj = 0:n/2-1;
        k = k + (x(s)/2).^jj/factorial(jj);
    end
    F(s) = 1-exp(-x(s)/2).*k;
else
    for ii=1:numel(x)
        if x(ii) > 0
            F(ii) = quadl(@dchisq,0,x(ii),1e-6,0,n);
        else
            F(ii) = 0;
        end
    end
end
end

%-----
function f=dchisq(x,n)
% DCHISQ(X,N) - Density function of the chi-square distribution.
if nargin<2
    n=1;
end
f=zeros(size(x));
s = x>=0;
f(s) = x(s).^(n/2-1).*exp(-x(s)/2)./(2^(n/2)*gamma(n/2));

%-----
function properties = getopt(properties,varargin)
%GETOPT - Process paired optional arguments as
'prop1',val1,'prop2',val2,...
%
%   getopt(properties,varargin) returns a modified properties structure,
%   given an initial properties structure, and a list of paired
arguments.
%   Each argumnet pair should be of the form property_name,val where
%   property_name is the name of one of the field in properties, and val
is
%   the value to be assigned to that structure field.
%
%   No validation of the values is performed.
%
% EXAMPLE:
%   properties =
struct('zoom',1.0,'aspect',1.0,'gamma',1.0,'file',[],'bg',[]);
%   properties = getopt(properties,'aspect',0.76,'file','mydata.dat')

```

```

% would return:
%   properties =
%       zoom: 1
%       aspect: 0.7600
%       gamma: 1
%       file: 'mydata.dat'
%       bg: []
%
% Typical usage in a function:
%   properties = getopt(properties,varargin{:})

% Process the properties (optional input arguments)
prop_names = fieldnames(properties);
TargetField = [];
for ii=1:length(varargin)
    arg = varargin{ii};
    if isempty(TargetField)
        if ~ischar(arg)
            error('Property names must be character strings');
        end
        f = find(strcmp(prop_names, arg));
        if length(f) == 0
            error('%s ', ['invalid property ',arg, ']; must be one
of:'],prop_names{:});
        end
        TargetField = arg;
    else
        % properties.(TargetField) = arg; % Ver 6.5 and later only
        properties = setfield(properties, TargetField, arg); % Ver 6.1
friendly
        TargetField = '';
    end
end
if ~isempty(TargetField)
    error('Property names and values must be specified in pairs.');
```

## Anexo C





```

%Mário Pedro Moreira Pereira
%Rotina para Análise do Sinal na Atracagem
%Doutoramento em Engenharia Geográfica
%Departamento de Geociências e Ordenamento do Território
%Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Programa para calcular o valor dos semi-eixos das elipses para      %
% cada uma das componentes X, Y e Z                                   %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear
format long
x=[322294.9318 322294.9320 322294.9361 322294.9348 322294.9377
322294.9391 322294.9374...
322294.9371 322294.9358 322294.9359 322294.9355 322294.9363];
y=[3613359.9520 3613359.9553 3613359.9551 3613359.9547 3613359.9573
3613359.9559 3613359.9551...
3613359.9545 3613359.9555 3613359.9550 3613359.9559
3613359.9538];
z=[18.5751 18.5730 18.5728 18.5759 18.5760 18.5733 18.5755 18.5738
18.5734 18.5790 18.5759 18.5737];

xlinha=x';ylinha=y';zlinha=z';matriz=[xlinha ylinha zlinha];
desvp_x=std(x);desvp_y=std(y);desvp_z=std(z);
var_x=desvp_x^2;var_y=desvp_y^2;var_z=desvp_z^2;cov_xyz=cov(matriz);

a=sqrt((var_x+var_y)/2+(sqrt(((var_x-
var_y)^2)/4+(cov_xyz(1,2))^2)));%semi-eixo maior
b=sqrt((var_x+var_y)/2-(sqrt(((var_x-
var_y)^2)/4+(cov_xyz(1,2))^2)));%semi-eixo menor

a1=(var_x+var_y)/2;a2=(var_x-var_y)^2;a3=a2/4;
a4=(cov_xyz(1,2))^2;a5=sqrt(a3+a4);a6=a1+a5;
a=sqrt(a6)

b1=(var_x+var_y)/2;b2=(var_x-var_y)^2;b3=b2/4;
b4=(cov_xyz(1,2))^2;b5=sqrt(b3+b4);b6=b1-b5;
b=sqrt(b6)

ang=(2*(cov_xyz(1,2)))/(var_x-var_y);
ang_=atan(ang)/2;
semi_maior=sqrt((var_x)*(cos(ang_))^2+(var_y)*(sin(ang_))^2+(cov_xyz(1,2)
*sin(2*ang_)))
semi_menor=sqrt((var_x)*(sin(ang_))^2+(var_y)*(cos(ang_))^2-
(cov_xyz(1,2)*sin(2*ang_)))

% gc=grau de confiança
gc=2.718;
semi_maior=semi_maior*gc
semi_menor=semi_menor*gc

```



## Anexo D



IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-2H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variancia
UTM	322294.9320	322294.9320	322294.9362	322294.9347	322294.9377	322294.9390	322294.9374	322294.9371	322294.9358	322294.9355	322294.9360	322294.9363	322294.9358	0.0038	0.0038	-0.0004	0.0011	-0.0019	-0.0032	-0.0016	-0.0013	0.0000	0.0003	-0.0002	-0.0005	0.0038	0.0021	0.0000
	3613359.9522	3613359.9552	3613359.9551	3613359.9547	3613359.9573	3613359.9558	3613359.9549	3613359.9545	3613359.9556	3613359.9559	3613359.9550	3613359.9539	3613359.9550	-0.0022	-0.0001	0.0003	-0.0023	-0.0006	0.0001	0.0005	-0.0006	-0.0009	0.0000	0.0011	0.0026	0.0012	0.0000	0.0000
	18.5750	18.5730	18.5722	18.5759	18.5760	18.5733	18.5755	18.5737	18.5735	18.5758	18.5790	18.5737	18.5747	-0.0003	0.0017	0.0025	-0.0012	-0.0013	0.0014	-0.0008	0.0010	0.0012	-0.0011	0.0043	0.0010	-0.0043	0.0019	0.0000
WGS84	5143649.5640	5143649.5609	5143649.5614	5143649.5642	5143649.5638	5143649.5627	5143649.5645	5143649.5632	5143649.5621	5143649.5637	5143649.5669	5143649.5634	5143649.5634	-0.0006	0.0025	0.0020	-0.0008	-0.0004	0.0007	-0.0011	0.0002	0.0013	-0.0003	0.0035	0.0000	-0.0035	0.0016	0.0000
	-1562619.0182	-1562619.0173	-1562619.0130	-1562619.0154	-1562619.0122	-1562619.0105	-1562619.0127	-1562619.0126	-1562619.0136	-1562619.0145	-1562619.0149	-1562619.0135	-1562619.0140	0.0042	0.0033	-0.0010	0.0014	-0.0018	-0.0035	-0.0013	-0.0014	-0.0004	0.0005	0.0009	-0.0005	0.0042	0.0022	0.0000
	3421069.2085	3421069.2099	3421069.2095	3421069.2111	3421069.2134	3421069.2107	3421069.2111	3421069.2098	3421069.2106	3421069.2121	3421069.2131	3421069.2093	3421069.2108	0.0023	0.0009	0.0013	-0.0003	-0.0026	0.0001	-0.0003	0.0010	0.0002	-0.0013	-0.0023	0.0015	-0.0026	0.0015	0.0000

Δ12	Δ13	Δ14	Δ15	Δ16	Δ17	Δ18	Δ19	Δ110	Δ111	Δ112	Δ23	Δ24	Δ25	Δ26	Δ27	Δ28	Δ29	Δ210	Δ211	Δ212	Δ34	Δ35	Δ36	Δ37	Δ38
0.0000	-0.0042	-0.0027	-0.0057	-0.0070	-0.0054	-0.0051	-0.0038	-0.0035	-0.0040	-0.0043	-0.0042	-0.0027	-0.0057	-0.0070	-0.0054	-0.0051	-0.0038	-0.0035	-0.0040	-0.0043	0.0015	-0.0015	-0.0028	-0.0012	-0.0009
-0.0030	-0.0029	-0.0025	-0.0051	-0.0036	-0.0027	-0.0023	-0.0034	-0.0037	-0.0028	-0.0017	0.0001	0.0005	-0.0021	-0.0006	0.0003	0.0007	-0.0004	-0.0007	0.0002	0.0013	0.0004	-0.0022	-0.0007	0.0002	0.0006
0.0020	0.0028	-0.0009	-0.0010	0.0017	-0.0005	0.0013	0.0015	-0.0008	-0.0040	0.0013	0.0008	-0.0029	-0.0030	-0.0003	-0.0025	-0.0007	-0.0005	-0.0028	-0.0060	-0.0007	-0.0037	-0.0038	-0.0011	-0.0033	-0.0015
0.0031	0.0026	-0.0002	0.0002	0.0013	-0.0005	0.0008	0.0019	0.0003	-0.0029	0.0006	-0.0005	-0.0029	-0.0018	-0.0023	-0.0012	-0.0028	-0.0060	-0.0023	-0.0025	-0.0028	-0.0024	-0.0013	-0.0031	-0.0018	
-0.0009	-0.0052	-0.0028	-0.0060	-0.0077	-0.0055	-0.0056	-0.0046	-0.0037	-0.0033	-0.0047	-0.0043	-0.0019	-0.0061	-0.0068	-0.0046	-0.0047	-0.0037	-0.0028	-0.0024	-0.0038	0.0024	-0.0006	-0.0025	-0.0003	-0.0004
-0.0014	-0.0010	-0.0026	-0.0049	-0.0022	-0.0026	-0.0013	-0.0021	-0.0036	-0.0046	-0.0008	0.0004	-0.0012	-0.0035	-0.0008	-0.0012	0.0001	-0.0007	-0.0022	-0.0032	0.0006	-0.0016	-0.0039	-0.0012	-0.0016	-0.0003

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
-0.0030	-0.0043	-0.0027	-0.0024	-0.0011	-0.0008	-0.0013	-0.0016	-0.0013	0.0003	0.0006	0.0019	0.0022	0.0017	0.0014	0.0016	0.0019	0.0032	0.0035	0.0030	0.0027	0.0003	0.0016	0.0019	0.0014	0.0011
-0.0026	-0.0011	-0.0002	0.0002	-0.0009	-0.0012	-0.0003	0.0008	0.0015	0.0024	0.0028	0.0017	0.0014	0.0023	0.0034	0.0009	0.0013	0.0002	-0.0001	0.0008	0.0019	0.0004	-0.0007	-0.0010	-0.0001	0.0010
-0.0001	0.0026	0.0004	0.0022	0.0024	0.0001	-0.0031	0.0022	0.0027	0.0005	0.0023	0.0025	0.0002	-0.0030	0.0023	-0.0022	-0.0004	-0.0002	-0.0025	-0.0057	-0.0004	0.0018	0.0020	-0.0003	-0.0035	0.0018
0.0004	0.0015	-0.0003	0.0010	0.0021	0.0005	-0.0027	0.0008	0.0017	-0.0007	0.0006	0.0017	0.0001	-0.0031	0.0004	-0.0018	-0.0005	0.0006	-0.0010	-0.0042	-0.0007	0.0013	0.0024	0.0008	-0.0024	0.0011
-0.0032	-0.0049	-0.0027	-0.0028	-0.0018	-0.0009	-0.0005	-0.0019	-0.0017	0.0005	0.0004	0.0014	0.0023	0.0027	0.0013	0.0022	0.0021	0.0031	0.0040	0.0044	0.0030	-0.0001	0.0009	0.0018	0.0022	0.0008
-0.0023	0.0004	0.0000	0.0013	0.0005	-0.0010	-0.0020	0.0018	0.0027	0.0023	0.0036	0.0028	0.0013	0.0003	0.0041	-0.0004	0.0009	0.0001	-0.0014	-0.0024	0.0014	0.0013	0.0005	-0.0010	-0.0020	0.0018

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0013	0.0016	0.0011	0.0008	0.0003	-0.0002	-0.0005	-0.0005	-0.0008	-0.0003	-0.0070
-0.0011	-0.0014	-0.0005	0.0006	-0.0003	-0.0006	0.0017	0.0009	0.0020	0.0011	-0.0051
0.0002	-0.0021	-0.0053	0.0000	-0.0023	-0.0055	-0.0002	-0.0032	0.0021	0.0053	-0.0060
0.0011	-0.0005	-0.0037	-0.0002	-0.0016	-0.0048	-0.0013	-0.0032	0.0003	0.0035	-0.0060
0.0010	0.0019	0.0023	0.0009	0.0009	0.0013	-0.0001	0.0004	-0.0010	-0.0014	-0.0077
-0.0008	-0.0023	-0.0033	0.0005	-0.0015	-0.0025	0.0013	-0.0010	0.0028	0.0038	-0.0049

FINAL	ΔFINAL	FINAL-2H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ9 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0002		0.0036	0.0036	-0.0006	0.0009	-0.0021	-0.0034	-0.0018	-0.0015	-0.0002	0.0001	-0.0004	-0.0007	0.0036	0.0021
3613359.9548	-0.0002		0.0026	-0.0004	-0.0003	0.0001	-0.0025	-0.0010	-0.0001	0.0003	-0.0008	-0.0011	-0.0002	0.0009	0.0026	0.0012
18.5763	0.0015		0.0013	0.0041	0.0004	0.0003	0.0030	0.0008	0.0026	0.0028	0.0005	-0.0027	0.0026	0.0041	0.0025	
5143649.5647	0.0013		0.0007	0.0038	0.0033	0.0005	0.0009	0.0020	0.0002	0.0015	0.0026	0.0010	-0.0022	0.0013	0.0038	0.0021
-1562619.0147	-0.0006		0.0035	0.0026	-0.0017	0.0007	-0.0025	-0.0042	-0.0020	-0.0021	-0.0011	-0.0002	0.0002	-0.0012	-0.0042	0.0023
3421069.2115	0.0007		0.0030	0.0016	0.0020	0.0004	-0.0019	0.0006	0.0004	0.0017	0.0009	-0.0006	-0.0016	0.0022	0.0030	0.0017

- 1
- 06/03/2010 - 12\_14
- 2
- 08/03/2010 - 19\_21
- 3
- 09/03/2010 - 20\_22
- 4
- 09/03/2010 - 22\_24
- 5
- 10/03/2010 - 04\_06
- 6
- 11/03/2010 - 15\_17
- 7
- 16/03/2010 - 11\_13
- 8
- 16/03/2010 - 18\_20
- 9
- 17/03/2010 - 20\_22
- 10
- 18/03/2010 - 09\_11
- 11
- 18/03/2010 - 00\_02
- 12
- 19/03/2010 - 03\_05

Tabela D.1 - Órbitas precisas

IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-2H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variancia
UTM	322294.9320	322294.9320	322294.9363	322294.9348	322294.9377	322294.9384	322294.9373	322294.9371	322294.9360	322294.9355	322294.9359	322294.9363	322294.9358	0.0038	0.0038	-0.0005	0.0010	-0.0019	-0.0026	-0.0015	-0.0013	-0.0002	0.0003	-0.0001	-0.0005	0.0038	0.0020	0.0000
	3611359.9522	3611359.9552	3611359.9562	3611359.9547	3611359.9573	3611359.9567	3611359.9548	3611359.9545	3611359.9559	3611359.9550	3611359.9550	3611359.9538	3611359.9551	0.0029	-0.0001	-0.0001	0.0004	-0.0022	-0.0016	0.0003	0.0006	-0.0005	-0.0008	-0.0001	0.0013	0.0029	0.0013	0.0000
	18.5750	18.5732	18.5722	18.5759	18.5761	18.5731	18.5757	18.5738	18.5734	18.5757	18.5790	18.5740	18.5748	-0.0002	0.0016	0.0026	-0.0011	-0.0013	0.0017	-0.0009	0.0010	0.0014	-0.0009	-0.0042	0.0008	-0.0042	0.0019	0.0000
WGS84	5143649.5640	5143649.5610	5143649.5614	5143649.5642	5143649.5638	5143649.5620	5143649.5647	5143649.5632	5143649.5621	5143649.5636	5143649.5669	5143649.5636	5143649.5634	-0.0006	0.0004	0.0020	-0.0008	-0.0004	0.0014	-0.0013	0.0002	0.0013	-0.0002	-0.0035	-0.0002	-0.0035	0.0016	0.0000
	-1562619.0182	-1562619.0173	-1562619.0130	-1562619.0153	-1562619.0122	-1562619.0109	-1562619.0129	-1562619.0126	-1562619.0135	-1562619.0144	-1562619.0150	-1562619.0136	-1562619.0141	0.0041	0.0032	-0.0011	0.0012	-0.0019	-0.0032	-0.0012	-0.0015	-0.0006	0.0003	0.0009	-0.0005	0.0041	0.0021	0.0000
	3421069.2085	3421069.2100	3421069.2095	3421069.2111	3421069.2134	3421069.2133	3421069.2111	3421069.2098	3421069.2106	3421069.2120	3421069.2131	3421069.2094	3421069.2108	0.0023	0.0008	0.0013	-0.0003	-0.0026	-0.0005	-0.0003	0.0010	0.0002	-0.0012	-0.0023	0.0014	-0.0026	0.0015	0.0000

$\Delta_{12}$	$\Delta_{13}$	$\Delta_{14}$	$\Delta_{15}$	$\Delta_{16}$	$\Delta_{17}$	$\Delta_{18}$	$\Delta_{19}$	$\Delta_{110}$	$\Delta_{111}$	$\Delta_{112}$	$\Delta_{23}$	$\Delta_{24}$	$\Delta_{25}$	$\Delta_{26}$	$\Delta_{27}$	$\Delta_{28}$	$\Delta_{29}$	$\Delta_{210}$	$\Delta_{211}$	$\Delta_{212}$	$\Delta_{34}$	$\Delta_{35}$	$\Delta_{36}$	$\Delta_{37}$	$\Delta_{38}$
0.0000	-0.0043	-0.0028	-0.0057	-0.0064	-0.0053	-0.0051	-0.0040	-0.0035	-0.0039	-0.0043	-0.0028	-0.0028	-0.0057	-0.0064	-0.0053	-0.0051	-0.0040	-0.0035	-0.0039	-0.0043	0.0015	-0.0014	-0.0021	-0.0010	-0.0008
-0.0030	-0.0030	-0.0025	-0.0051	-0.0045	-0.0026	-0.0023	-0.0034	-0.0037	-0.0028	-0.0016	0.0000	0.0005	-0.0021	-0.0015	0.0004	0.0007	-0.0004	-0.0007	0.0002	0.0014	0.0005	-0.0021	-0.0015	0.0004	0.0007
0.0018	0.0028	-0.0009	-0.0011	0.0019	-0.0007	0.0012	0.0016	-0.0007	-0.0040	0.0010	0.0010	-0.0027	-0.0029	0.0001	-0.0025	-0.0006	-0.0002	-0.0025	-0.0058	-0.0008	-0.0037	-0.0039	-0.0009	-0.0035	-0.0018
0.0030	0.0026	-0.0002	0.0020	-0.0007	0.0008	0.0019	0.0004	-0.0029	0.0004	-0.0004	-0.0032	-0.0028	-0.0010	-0.0010	-0.0022	-0.0011	-0.0026	-0.0026	-0.0069	-0.0026	-0.0024	-0.0006	-0.0033	-0.0018	
-0.0009	-0.0052	-0.0023	-0.0060	-0.0073	-0.0053	-0.0056	-0.0047	-0.0038	-0.0032	-0.0046	-0.0043	-0.0020	-0.0061	-0.0064	-0.0044	-0.0047	-0.0038	-0.0029	-0.0023	-0.0037	0.0023	-0.0008	-0.0021	-0.0001	-0.0004
-0.0015	-0.0010	-0.0026	-0.0049	-0.0028	-0.0026	-0.0013	-0.0021	-0.0035	-0.0046	-0.0009	0.0005	-0.0011	-0.0034	-0.0013	-0.0011	0.0002	-0.0006	-0.0020	-0.0031	0.0006	-0.0016	-0.0039	-0.0018	-0.0016	-0.0003

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
-0.0029	-0.0036	-0.0025	-0.0023	-0.0012	-0.0007	-0.0011	-0.0015	-0.0007	0.0004	0.0006	0.0017	0.0022	0.0018	0.0014	0.0011	0.0013	0.0024	0.0029	0.0025	0.0021	0.0002	0.0013	0.0018	0.0014	0.0010
-0.0026	-0.0020	-0.0001	0.0002	-0.0009	-0.0012	-0.0003	0.0009	0.0006	0.0025	0.0028	0.0017	0.0014	0.0023	0.0035	0.0019	0.0022	0.0011	0.0008	0.0017	0.0029	0.0003	-0.0008	-0.0011	-0.0002	0.0010
-0.0002	0.0028	0.0002	0.0021	0.0025	0.0002	-0.0031	0.0019	0.0030	0.0004	0.0023	0.0027	0.0004	-0.0029	0.0021	-0.0026	-0.0007	-0.0003	-0.0026	-0.0059	-0.0009	0.0019	0.0023	0.0000	-0.0033	0.0017
0.0004	0.0022	-0.0005	0.0010	0.0021	0.0006	-0.0027	0.0006	0.0018	-0.0009	0.0006	0.0017	0.0002	-0.0031	0.0002	-0.0027	-0.0012	-0.0001	-0.0049	-0.0016	-0.0016	0.0015	0.0026	0.0000	-0.0022	0.0011
-0.0031	-0.0044	-0.0024	-0.0027	-0.0018	-0.0009	-0.0003	-0.0017	-0.0013	0.0007	0.0004	0.0013	0.0022	0.0028	0.0014	0.0020	0.0017	0.0026	0.0035	0.0041	0.0027	-0.0003	0.0006	0.0015	0.0021	0.0007
-0.0023	-0.0002	0.0000	0.0013	0.0005	-0.0009	-0.0020	0.0017	0.0021	-0.0023	0.0036	0.0028	0.0014	0.0003	0.0040	0.0002	0.0015	0.0007	-0.0007	-0.0018	0.0019	0.0013	0.0005	-0.0009	-0.0020	0.0017

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0011	0.0018	0.0012	0.0008	0.0005	0.0001	-0.0003	-0.0004	-0.0008	-0.0004	-0.0064
-0.0011	-0.0014	-0.0005	0.0007	-0.0003	0.0006	0.0018	0.0009	0.0021	0.0012	-0.0051
0.0004	-0.0019	-0.0052	-0.0002	-0.0023	-0.0056	-0.0006	-0.0033	0.0017	0.0050	-0.0059
0.0011	-0.0004	-0.0037	-0.0004	-0.0015	-0.0048	-0.0015	-0.0033	0.0000	0.0033	-0.0059
0.0009	0.0018	0.0024	0.0010	0.0009	0.0015	0.0001	0.0006	-0.0008	-0.0014	-0.0073
-0.0008	-0.0022	-0.0033	0.0004	-0.0014	-0.0025	0.0012	-0.0011	0.0026	0.0037	-0.0049

FINAL	ΔFINAL	FINAL-2H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0002		0.0036	0.0036	-0.0007	0.0008	-0.0021	-0.0028	-0.0017	-0.0015	-0.0004	0.0001	-0.0003	-0.0007	0.0036	0.0020
3611359.9548	-0.0002		0.0026	-0.0004	-0.0004	0.0001	-0.0025	-0.0019	0.0000	0.0003	-0.0008	-0.0011	-0.0002	0.0010	0.0026	0.0013
18.5763	0.0015		0.0013	0.0031	0.0041	0.0004	0.0002	0.0032	0.0006	0.0025	0.0029	0.0006	-0.0027	0.0023	0.0041	0.0024
5143649.5647	0.0013		0.0007	0.0037	0.0033	0.0005	0.0009	0.0027	0.0000	0.0015	0.0026	0.0011	-0.0022	0.0011	0.0037	0.0021
-1562619.0147	-0.0006		0.0035	0.0026	-0.0017	0.0006	-0.0025	-0.0038	-0.0018	-0.0021	-0.0012	-0.0003	0.0003	-0.0011	-0.0038	0.0022
3421069.2115	0.0006		0.0030	0.0015	0.0020	0.0004	-0.0019	0.0002	0.0004	0.0017	0.0009	-0.0005	-0.0016	0.0021	0.0030	0.0016

1 06/03/2010 - 12\_14  
2 08/03/2010 - 19\_21  
3 09/03/2010 - 20\_22  
4 09/03/2010 - 22\_24  
5 10/03/2010 - 04\_06  
6 11/03/2010 - 15\_17  
7 16/03/2010 - 11\_13  
8 16/03/2010 - 18\_20  
9 17/03/2010 - 20\_22  
10 18/03/2010 - 09\_11  
11 18/03/2010 - 00\_02  
12 19/03/2010 - 03\_05

Tabela D.2 - Sistema GPS

IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-2H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variancia
UTM	322294.9318	322294.9319	322294.9364	322294.9349	322294.9377	322294.9385	322294.9370	322294.9372	322294.9368	322294.9355	322294.9360	322294.9362	322294.9358	0.0040	0.0039	-0.0006	0.0009	-0.0019	-0.0027	-0.0012	-0.0014	-0.0010	0.0003	-0.0002	-0.0004	0.0040	0.0021	0.0000
	3613359.9521	3613359.9552	3613359.9555	3613359.9546	3613359.9572	3613359.9566	3613359.9551	3613359.9545	3613359.9550	3613359.9560	3613359.9551	3613359.9537	3613359.9551	0.0020	-0.0002	-0.0005	0.0004	-0.0022	-0.0016	-0.0001	0.0005	-0.0000	-0.0010	-0.0001	0.0013	0.0029	0.0013	0.0000
	18.5750	18.5734	18.5724	18.5758	18.5761	18.5729	18.5762	18.5738	18.5735	18.5758	18.5791	18.5740	18.5748	-0.0002	0.0014	0.0024	-0.0010	-0.0013	0.0019	-0.0014	0.0010	0.0013	-0.0010	-0.0043	0.0008	-0.0043	0.0019	0.0000
ITRF93	5143649.5640	5143649.5611	5143649.5639	5143649.5637	5143649.5639	5143649.5618	5143649.5648	5143649.5633	5143649.5627	5143649.5636	5143649.5668	5143649.5636	5143649.5636	-0.0004	0.0025	-0.0003	-0.0001	-0.0003	0.0018	-0.0012	0.0003	0.0009	0.0000	-0.0032	0.0000	-0.0032	0.0014	0.0000
	-1562619.0183	-1562619.0174	-1562619.0130	-1562619.0145	-1562619.0123	-1562619.0108	-1562619.0132	-1562619.0126	-1562619.0127	-1562619.0145	-1562619.0149	-1562619.0136	-1562619.0140	0.0043	0.0034	-0.0010	0.0005	-0.0017	-0.0032	-0.0008	-0.0014	-0.0013	0.0005	0.0009	-0.0004	0.0043	0.0021	0.0000
	3421069.2084	3421069.2101	3421069.2122	3421069.2121	3421069.2134	3421069.2112	3421069.2116	3421069.2098	3421069.2101	3421069.2122	3421069.2131	3421069.2093	3421069.2111	0.0026	0.0009	-0.0012	-0.0010	-0.0024	-0.0002	-0.0006	0.0012	0.0009	-0.0012	-0.0021	0.0017	0.0026	0.0016	0.0000

Δ12	Δ13	Δ14	Δ15	Δ16	Δ17	Δ18	Δ19	Δ110	Δ111	Δ112	Δ23	Δ24	Δ25	Δ26	Δ27	Δ28	Δ29	Δ210	Δ211	Δ212	Δ34	Δ35	Δ36	Δ37	Δ38
-0.0001	-0.0046	-0.0031	-0.0059	-0.0067	-0.0052	-0.0054	-0.0050	-0.0037	-0.0042	-0.0044	-0.0045	-0.0030	-0.0058	-0.0066	-0.0051	-0.0053	-0.0049	-0.0038	-0.0041	-0.0043	0.0015	-0.0013	-0.0021	-0.0006	-0.0008
-0.0031	-0.0034	-0.0025	-0.0051	-0.0045	-0.0030	-0.0024	-0.0029	-0.0039	-0.0030	-0.0016	-0.0003	0.0006	-0.0020	-0.0014	0.0001	0.0007	0.0002	-0.0008	0.0001	0.0015	0.0009	-0.0017	-0.0011	0.0004	0.0010
0.0016	0.0026	-0.0008	-0.0011	0.0021	-0.0012	0.0012	0.0015	-0.0008	-0.0041	0.0010	0.0010	-0.0024	-0.0027	0.0005	-0.0028	-0.0004	-0.0001	-0.0024	-0.0057	-0.0006	-0.0034	-0.0037	-0.0005	-0.0038	-0.0014
0.0029	0.0001	0.0003	0.0001	0.0022	0.0006	0.0007	0.0013	0.0004	-0.0028	0.0004	-0.0028	-0.0026	-0.0028	-0.0007	-0.0037	-0.0022	-0.0016	-0.0025	-0.0057	-0.0025	0.0002	0.0000	0.0021	-0.0009	0.0006
-0.0009	-0.0053	-0.0038	-0.0060	-0.0075	-0.0051	-0.0057	-0.0056	-0.0038	-0.0034	-0.0047	-0.0044	-0.0029	-0.0061	-0.0066	0.0042	-0.0048	-0.0047	-0.0029	-0.0025	-0.0038	0.0015	-0.0007	-0.0022	0.0002	-0.0004
-0.0017	-0.0038	-0.0037	-0.0050	-0.0028	-0.0032	-0.0014	-0.0017	-0.0038	-0.0047	-0.0009	-0.0021	-0.0020	-0.0033	-0.0011	-0.0015	0.0003	0.0000	-0.0021	-0.0030	0.0008	0.0001	-0.0012	0.0010	0.0006	0.0024

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
-0.0028	-0.0036	-0.0021	-0.0023	-0.0019	-0.0006	-0.0011	-0.0013	-0.0008	0.0007	0.0005	0.0009	0.0022	0.0017	0.0015	0.0015	0.0013	0.0017	0.0030	0.0025	0.0023	-0.0002	0.0002	0.0015	0.0010	0.0008
-0.0026	-0.0020	-0.0005	0.0001	-0.0004	-0.0014	-0.0005	0.0009	0.0006	0.0021	0.0027	0.0022	0.0012	0.0021	0.0035	0.0015	0.0021	0.0016	0.0006	0.0015	0.0029	0.0006	0.0001	-0.0009	0.0000	0.0014
-0.0003	0.0029	-0.0004	0.0020	0.0023	0.0000	-0.0033	0.0018	0.0032	-0.0001	0.0023	0.0026	0.0003	-0.0030	0.0021	-0.0033	-0.0009	-0.0006	-0.0029	-0.0062	-0.0011	0.0024	0.0027	0.0004	-0.0029	0.0022
-0.0002	0.0019	-0.0011	0.0004	0.0010	0.0001	-0.0031	0.0001	0.0021	-0.0009	0.0006	0.0012	0.0003	-0.0029	0.0003	-0.0015	-0.0009	-0.0018	-0.0050	-0.0018	0.0015	0.0021	0.0012	-0.0020	0.0012	
-0.0022	-0.0037	-0.0013	-0.0019	-0.0018	0.0000	0.0004	-0.0009	-0.0015	0.0009	0.0003	0.0004	0.0022	0.0026	0.0013	0.0024	0.0019	0.0037	0.0041	0.0028	-0.0006	-0.0005	0.0013	0.0017	0.0004	
-0.0013	0.0009	0.0005	0.0023	0.0020	-0.0001	-0.0010	0.0028	0.0022	0.0018	0.0036	0.0033	0.0012	0.0003	0.0041	-0.0004	0.0014	0.0011	-0.0010	-0.0019	0.0019	0.0018	0.0015	-0.0006	-0.0015	0.0023

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0004	0.0017	0.0012	0.0010	0.0013	0.0008	0.0006	-0.0005	-0.0007	-0.0002	-0.0067
-0.0005	-0.0015	-0.0006	0.0008	-0.0010	-0.0001	0.0013	0.0009	0.0023	0.0014	-0.0051
0.0003	-0.0020	-0.0053	-0.0002	-0.0023	-0.0056	-0.0005	-0.0033	0.0018	0.0051	-0.0062
0.0006	-0.0003	-0.0035	-0.0003	-0.0009	-0.0041	-0.0009	-0.0032	0.0000	0.0032	-0.0057
0.0001	0.0019	0.0023	0.0010	0.0018	0.0022	0.0009	0.0004	-0.0009	-0.0013	-0.0075
-0.0003	-0.0024	-0.0033	0.0005	-0.0021	-0.0030	0.0008	-0.0009	0.0029	0.0038	-0.0050

FINAL	ΔFINAL	FINAL-2H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0003		0.0038	0.0037	-0.0008	0.0007	-0.0021	-0.0029	-0.0014	-0.0016	-0.0012	0.0001	-0.0004	-0.0006	0.0038	0.0021
3613359.9548	-0.0002		0.0027	-0.0004	-0.0007	0.0002	-0.0024	-0.0018	-0.0003	0.0003	-0.0002	-0.0012	-0.0003	0.0011	0.0027	0.0013
18.5763	0.0014		0.0013	0.0029	0.0039	0.0005	0.0002	0.0034	0.0001	0.0025	0.0028	0.0005	0.0023	0.0023	0.0039	0.0024
5143649.5647	0.0010		0.0007	0.0036	0.0008	0.0010	0.0008	0.0029	-0.0001	0.0014	0.0020	0.0011	-0.0021	0.0011	0.0036	0.0018
-1562619.0147	-0.0006		0.0036	0.0027	-0.0017	-0.0002	-0.0024	-0.0039	-0.0015	-0.0021	-0.0020	-0.0002	-0.0011	-0.0009	0.0022	
3421069.2115	0.0004		0.0031	0.0014	-0.0007	-0.0006	-0.0019	0.0003	-0.0001	0.0017	0.0014	-0.0007	-0.0016	0.0022	0.0031	0.0016

- 1
- 06/03/2010 - 12\_14
- 2
- 08/03/2010 - 19\_21
- 3
- 09/03/2010 - 20\_22
- 4
- 09/03/2010 - 22\_24
- 5
- 10/03/2010 - 04\_06
- 6
- 11/03/2010 - 15\_17
- 7
- 16/03/2010 - 11\_13
- 8
- 16/03/2010 - 18\_20
- 9
- 17/03/2010 - 20\_22
- 10
- 18/03/2010 - 09\_11
- 11
- 18/03/2010 - 00\_02
- 12
- 19/03/2010 - 03\_05

Tabela D.3 - Sistema GPS+GLONASS

IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-2H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variancia
UTM	322294.9320	322294.9320	322294.9362	322294.9348	322294.9377	322294.9384	322294.9373	322294.9371	322294.9359	322294.9355	322294.9360	322294.9363	322294.9358	0.0038	0.0038	-0.0004	0.0010	-0.0019	-0.0026	-0.0015	-0.0013	-0.0001	0.0003	-0.0002	-0.0005	0.0038	0.0020	0.0000
	3611359.9522	3611359.9551	3611359.9551	3611359.9547	3611359.9573	3611359.9567	3611359.9548	3611359.9540	3611359.9556	3611359.9558	3611359.9550	3611359.9538	3611359.9551	0.0028	-0.0001	-0.0001	0.0003	-0.0023	-0.0017	0.0002	0.0005	-0.0006	-0.0008	-0.0000	0.0012	0.0026	0.0013	0.0000
	18.5750	18.5731	18.5722	18.5759	18.5760	18.5731	18.5757	18.5737	18.5735	18.5757	18.5791	18.5740	18.5748	-0.0002	0.0017	0.0026	-0.0011	-0.0012	0.0017	-0.0009	0.0011	0.0013	-0.0009	-0.0043	0.0008	-0.0043	0.0019	0.0000
WGS84	5143649.5640	5143649.5609	5143649.5614	5143649.5642	5143649.5638	5143649.5619	5143649.5647	5143649.5632	5143649.5621	5142619.5636	5143649.5670	5143649.5636	5143563.7300	-85.8340	-85.8309	-85.8314	-85.8342	-85.8338	-85.8319	-85.8347	-85.8332	-85.8321	944.1664	-85.8370	-85.8336	944.1664	297.3353	88408.3011
	-1562619.0182	-1562619.0173	-1562619.0130	-1562619.0153	-1562619.0122	-1562619.0109	-1562619.0129	-1562619.0126	-1562619.0135	-1562619.0144	-1562619.0149	-1562619.0136	-1562619.0141	0.0041	0.0032	-0.0011	0.0012	-0.0019	-0.0032	-0.0012	-0.0015	-0.0006	0.0003	0.0008	-0.0005	0.0041	0.0021	0.0000
	3421069.2085	3421069.2099	3421069.2095	3421069.2111	3421069.2134	3421069.2113	3421069.2111	3421069.2098	3421069.2106	3421069.2120	3421069.2131	3421069.2093	3421069.2108	0.0023	0.0009	0.0013	-0.0003	-0.0026	-0.0005	-0.0003	0.0010	0.0002	-0.0012	-0.0023	0.0015	-0.0026	0.0015	0.0000

Δ12	Δ13	Δ14	Δ15	Δ16	Δ17	Δ18	Δ19	Δ110	Δ111	Δ112	Δ23	Δ24	Δ25	Δ26	Δ27	Δ28	Δ29	Δ210	Δ211	Δ212	Δ34	Δ35	Δ36	Δ37	Δ38
0.0000	-0.0042	-0.0028	-0.0057	-0.0064	-0.0053	-0.0051	-0.0039	-0.0035	-0.0040	-0.0043	-0.0042	-0.0028	-0.0057	-0.0064	-0.0053	-0.0051	-0.0039	-0.0035	-0.0040	-0.0043	0.0014	-0.0015	-0.0022	-0.0011	-0.0009
-0.0029	-0.0029	-0.0025	-0.0051	-0.0045	-0.0026	-0.0023	-0.0034	-0.0036	-0.0028	-0.0016	0.0000	0.0004	-0.0022	-0.0016	0.0003	0.0006	-0.0005	-0.0007	0.0001	0.0013	0.0004	-0.0022	-0.0016	0.0003	0.0006
0.0019	0.0028	-0.0009	-0.0010	0.0019	-0.0007	0.0013	0.0015	-0.0007	-0.0041	0.0010	0.0009	-0.0028	-0.0029	0.0000	-0.0026	-0.0006	-0.0004	-0.0026	-0.0060	-0.0009	-0.0037	-0.0038	-0.0009	-0.0035	-0.0015
0.0031	0.0026	-0.0002	0.0021	0.0007	0.0008	0.0019	1030.0004	-0.0030	-0.0004	-0.0005	-0.0033	-0.0029	-0.0010	-0.0038	-0.0023	-0.0012	1029.9973	-0.0061	-0.0027	-0.0028	-0.0024	-0.0005	-0.0033	-0.0018	
-0.0009	-0.0052	-0.0029	-0.0060	-0.0073	-0.0053	-0.0056	-0.0047	-0.0038	-0.0033	-0.0046	-0.0043	-0.0020	-0.0061	-0.0064	-0.0044	-0.0047	-0.0038	-0.0029	-0.0024	-0.0037	0.0023	-0.0006	-0.0021	-0.0001	-0.0004
-0.0014	-0.0010	-0.0026	-0.0049	-0.0028	-0.0026	-0.0013	-0.0021	-0.0035	-0.0046	-0.0008	0.0004	-0.0012	-0.0035	-0.0014	-0.0012	0.0001	-0.0007	-0.0021	-0.0032	0.0006	-0.0016	-0.0039	-0.0018	-0.0016	-0.0003

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
-0.0029	-0.0036	-0.0025	-0.0023	-0.0011	-0.0007	-0.0012	-0.0015	-0.0007	0.0004	0.0006	0.0018	0.0022	0.0017	0.0014	0.0011	0.0013	0.0025	0.0029	0.0024	0.0021	0.0002	0.0014	0.0018	0.0013	0.0010
-0.0026	-0.0020	-0.0001	0.0002	-0.0009	-0.0011	-0.0003	0.0009	0.0006	0.0025	0.0028	0.0017	0.0015	0.0023	0.0035	0.0019	0.0022	0.0011	0.0009	0.0017	0.0029	-0.0008	-0.0010	-0.0002	0.0010	
-0.0001	0.0002	0.0002	0.0024	0.0002	-0.0032	0.0019	0.0029	0.0003	0.0023	0.0025	0.0003	-0.0031	0.0020	-0.0026	-0.0006	-0.0004	-0.0026	-0.0060	-0.0009	0.0020	0.0022	0.0000	-0.0034	0.0017	
0.0004	0.0023	-0.0005	0.0010	0.0021	1030.0006	-0.0028	0.0006	0.0019	-0.0009	0.0006	0.0017	1030.0002	-0.0032	0.0002	-0.0013	-0.0002	1029.9983	-0.0051	-0.0017	0.0015	0.0026	1030.0011	-0.0023	0.0011	
-0.0031	-0.0044	-0.0024	-0.0018	-0.0009	-0.0004	-0.0017	-0.0013	0.0007	0.0004	0.0013	0.0022	0.0027	0.0014	0.0020	0.0017	0.0026	0.0035	0.0040	0.0027	-0.0003	0.0006	0.0015	0.0020	0.0007	
-0.0023	-0.0002	0.0000	0.0013	0.0005	-0.0009	-0.0020	0.0018	0.0021	0.0023	0.0036	0.0028	0.0014	0.0003	0.0041	0.0002	0.0015	0.0007	-0.0007	-0.0018	0.0020	0.0013	0.0005	-0.0009	-0.0020	0.0018

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0012	0.0018	0.0011	0.0008	0.0004	-0.0001	-0.0004	-0.0005	-0.0008	-0.0003	-0.0064
-0.0011	-0.0013	-0.0005	0.0007	-0.0002	-0.0006	0.0018	0.0008	0.0020	0.0012	-0.0051
0.0002	-0.0020	-0.0054	-0.0003	-0.0022	-0.0056	-0.0005	-0.0034	0.0017	0.0051	-0.0060
0.0011	1029.9996	-0.0038	-0.0004	1029.9985	-0.0049	-0.0015	-1030.0034	-1030.0000	0.0034	-1030.0034
0.0009	0.0018	0.0023	0.0010	0.0009	0.0014	0.0001	0.0005	-0.0008	-0.0013	-0.0073
-0.0008	-0.0022	-0.0033	0.0005	-0.0014	-0.0025	0.0013	-0.0011	0.0027	0.0038	-0.0049

FINAL	ΔFINAL	FINAL-2H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ9 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0002		0.0036	0.0036	-0.0006	0.0008	-0.0021	-0.0028	-0.0017	-0.0015	-0.0003	0.0001	-0.0004	-0.0007	0.0036	0.0020
3611359.9548	-0.0002		0.0026	-0.0003	-0.0003	0.0001	-0.0025	-0.0019	0.0000	0.0003	-0.0008	-0.0010	-0.0002	0.0010	0.0026	0.0013
18.5763	0.0015		0.0013	0.0032	0.0041	0.0004	0.0003	0.0032	0.0006	0.0026	0.0028	0.0006	-0.0028	0.0023	0.0041	0.0025
5143649.5647	85.8346		0.0007	0.0038	0.0033	0.0005	0.0009	0.0028	0.0000	0.0015	0.0026	1030.0011	-0.0023	0.0011	1030.0011	316.5570
-1562619.0147	-0.0006		0.0035	0.0026	-0.0017	0.0006	-0.0025	-0.0038	-0.0018	-0.0021	-0.0012	-0.0003	0.0002	-0.0011	-0.0038	0.0022
3421069.2115	0.0007		0.0030	0.0016	0.0020	0.0004	-0.0019	0.0002	0.0004	0.0017	0.0009	-0.0005	-0.0016	0.0022	0.0030	0.0017

- 1
- 06/03/2010 - 12\_14
- 2
- 08/03/2010 - 19\_21
- 3
- 09/03/2010 - 20\_22
- 4
- 09/03/2010 - 22\_24
- 5
- 10/03/2010 - 04\_06
- 6
- 11/03/2010 - 15\_17
- 7
- 16/03/2010 - 11\_13
- 8
- 16/03/2010 - 18\_20
- 9
- 17/03/2010 - 20\_22
- 10
- 18/03/2010 - 00\_02
- 11
- 18/03/2010 - 09\_11
- 12
- 19/03/2010 - 03\_05

Tabela D.4 - Sistema GPS e órbitas precisas



EUREF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-2H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variancia
UTM	322294.9320	322294.9319	322294.9368	322294.9348	322294.9377	322294.9394	322294.9368	322294.9374	322294.9367	322294.9354	322294.9361	322294.9364	322294.9359	0.0039	0.0040	-0.0007	0.0011	-0.0018	-0.0035	-0.0009	-0.0015	-0.0008	0.0005	-0.0002	-0.0005	0.0040	0.0022	0.0000
	3613359.9519	3613359.9550	3613359.9560	3613359.9547	3613359.9573	3613359.9568	3613359.9557	3613359.9541	3613359.9549	3613359.9550	3613359.9538	3613359.9551	3613359.9551	0.0000	0.0001	-0.0009	0.0004	-0.0022	-0.0017	-0.0006	0.0010	0.0002	-0.0009	0.0001	0.0013	0.0032	0.0014	0.0000
	18.5747	18.5732	18.5735	18.5756	18.5760	18.5755	18.5764	18.5743	18.5736	18.5756	18.5790	18.5740	18.5751	0.0004	0.0019	0.0016	-0.0005	-0.0009	-0.0004	-0.0013	0.0008	0.0015	-0.0005	0.0039	0.0011	-0.0039	0.0016	0.0000
WGS84	5143649.5639	5143649.5610	5143649.5613	5143649.5640	5143649.5638	5143649.5641	5143649.5647	5143649.5640	5143649.5628	5143649.5635	5143649.5669	5143649.5636	5143649.5636	-0.0003	0.0026	0.0023	-0.0004	-0.0002	-0.0005	-0.0011	-0.0004	0.0008	0.0001	-0.0033	0.0000	-0.0033	0.0015	0.0000
	-1562619.0181	-1562619.0174	-1562619.0126	-1562619.0153	-1562619.0122	-1562619.0105	-1562619.0134	-1562619.0125	-1562619.0129	-1562619.0145	-1562619.0148	-1562619.0135	-1562619.0140	0.0041	0.0034	-0.0014	0.0013	-0.0018	-0.0035	-0.0006	-0.0015	-0.0011	0.0005	0.0008	-0.0005	0.0041	0.0022	0.0000
	3421069.2081	3421069.2099	3421069.2104	3421069.2104	3421069.2134	3421069.2127	3421069.2122	3421069.2097	3421069.2101	3421069.2121	3421069.2130	3421069.2094	3421069.2110	0.0029	0.0011	0.0006	0.0000	-0.0024	-0.0017	-0.0012	0.0013	0.0009	-0.0011	-0.0020	0.0016	0.0029	0.0017	0.0000

Δ12	Δ13	Δ14	Δ15	Δ16	Δ17	Δ18	Δ19	Δ110	Δ111	Δ112	Δ23	Δ24	Δ25	Δ26	Δ27	Δ28	Δ29	Δ210	Δ211	Δ212	Δ34	Δ35	Δ36	Δ37	Δ38
0.0001	-0.0046	-0.0028	-0.0057	-0.0074	-0.0048	-0.0054	-0.0047	-0.0034	-0.0041	-0.0044	-0.0047	-0.0029	-0.0058	-0.0075	-0.0049	-0.0055	-0.0048	-0.0035	-0.0042	-0.0045	0.0018	-0.0011	-0.0028	-0.0002	-0.0008
-0.0031	-0.0041	-0.0028	-0.0054	-0.0049	-0.0038	-0.0022	-0.0030	-0.0041	-0.0031	-0.0019	-0.0010	0.0003	-0.0023	-0.0018	-0.0007	0.0009	0.0001	-0.0010	0.0000	0.0012	0.0013	-0.0013	-0.0008	0.0003	0.0019
0.0015	0.0012	-0.0009	-0.0013	-0.0008	-0.0017	0.0004	0.0011	-0.0009	-0.0043	0.0007	-0.0003	-0.0024	-0.0028	-0.0023	-0.0032	-0.0011	-0.0004	-0.0024	-0.0058	-0.0008	-0.0021	-0.0025	-0.0020	-0.0029	-0.0008
0.0029	0.0026	-0.0001	-0.0001	-0.0002	-0.0008	-0.0001	0.0011	0.0004	-0.0030	0.0003	-0.0030	-0.0028	-0.0031	-0.0037	-0.0030	-0.0018	-0.0025	-0.0059	-0.0026	-0.0027	-0.0025	-0.0028	-0.0034	-0.0027	
-0.0007	-0.0055	-0.0028	-0.0059	-0.0076	-0.0047	-0.0056	-0.0052	-0.0036	-0.0033	-0.0046	-0.0048	-0.0021	-0.0062	-0.0069	0.0040	-0.0049	-0.0045	-0.0029	-0.0026	-0.0039	0.0027	-0.0004	-0.0021	-0.0008	-0.0001
-0.0018	-0.0023	-0.0029	-0.0053	-0.0046	-0.0041	-0.0016	-0.0020	-0.0040	-0.0049	-0.0013	-0.0005	-0.0011	-0.0035	-0.0028	-0.0023	0.0002	-0.0002	-0.0022	-0.0031	0.0005	-0.0006	-0.0030	-0.0023	-0.0018	0.0007

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
-0.0029	-0.0046	-0.0020	-0.0026	-0.0019	-0.0006	-0.0013	-0.0016	-0.0017	0.0009	0.0003	0.0010	0.0023	0.0016	0.0013	0.0026	0.0020	0.0027	0.0040	0.0033	0.0030	-0.0006	0.0001	0.0014	0.0007	0.0004
-0.0026	-0.0021	-0.0010	0.0006	-0.0002	-0.0013	-0.0003	0.0009	0.0005	0.0016	0.0032	0.0024	0.0013	0.0023	0.0035	0.0011	0.0027	0.0019	0.0008	0.0018	0.0030	0.0016	0.0008	-0.0003	0.0007	0.0019
-0.0004	0.0001	-0.0008	0.0013	0.0020	0.0000	-0.0034	0.0016	0.0005	-0.0004	0.0017	0.0024	0.0004	-0.0030	0.0020	-0.0009	0.0012	0.0019	-0.0001	-0.0035	0.0015	0.0021	0.0028	0.0008	-0.0026	0.0024
0.0002	-0.0001	-0.0037	0.0000	0.0012	0.0005	-0.0029	0.0004	-0.0003	-0.0009	-0.0002	0.0010	0.0003	-0.0031	0.0002	-0.0006	0.0001	0.0013	0.0006	-0.0028	0.0005	0.0007	0.0019	0.0012	-0.0022	0.0011
-0.0031	-0.0048	-0.0019	-0.0024	-0.0008	-0.0005	-0.0018	-0.0017	0.0012	0.0003	0.0007	0.0023	0.0026	0.0013	0.0029	0.0020	0.0024	0.0040	0.0043	0.0030	-0.0009	-0.0005	0.0011	0.0014	0.0001	
-0.0024	-0.0017	-0.0012	0.0013	0.0009	-0.0011	-0.0020	0.0016	0.0007	0.0012	0.0037	0.0033	0.0013	0.0004	0.0040	0.0005	0.0030	0.0026	0.0006	-0.0003	0.0033	0.0025	0.0021	0.0001	-0.0008	0.0028

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0007	0.0020	0.0013	0.0010	0.0013	0.0006	0.0003	-0.0007	-0.0010	-0.0003	-0.0078
-0.0008	-0.0019	-0.0009	0.0003	-0.0011	-0.0001	0.0011	0.0010	0.0022	0.0012	-0.0054
0.0007	-0.0013	-0.0047	0.0003	-0.0020	-0.0054	-0.0004	-0.0034	0.0016	0.0050	-0.0058
0.0012	0.0005	-0.0029	0.0004	-0.0007	-0.0041	-0.0008	-0.0034	-0.0001	0.0033	-0.0059
0.0004	0.0020	0.0023	0.0010	0.0016	0.0019	0.0006	0.0003	-0.0010	-0.0013	-0.0076
-0.0004	-0.0024	-0.0033	0.0003	-0.0020	-0.0029	0.0007	-0.0009	0.0027	0.0036	-0.0053

FINAL	ΔFINAL	FINAL-2H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0004		0.0036	0.0037	-0.0010	0.0008	-0.0021	-0.0038	-0.0012	-0.0018	-0.0011		0.0002	-0.0005	-0.0008	-0.0038	0.0022
3613359.9548	-0.0003		0.0029	-0.0002	-0.0012	0.0001	-0.0025	-0.0020	-0.0009	0.0007	-0.0001		-0.0012	-0.0002	0.0010	0.0029	0.0015
18.5763	0.0011		0.0016	0.0031	0.0028	0.0007	0.0003	0.0008	-0.0001	0.0020	0.0027		0.0007	-0.0027	0.0023	0.0031	0.0020
5143649.5647	0.0010		0.0008	0.0037	0.0034	0.0007	0.0009	0.0006	0.0000	0.0007	0.0019		0.0012	-0.0022	0.0011	0.0037	0.0019
-1562619.0147	-0.0007		0.0034	0.0027	-0.0021	0.0006	-0.0025	-0.0042	-0.0013	-0.0022	-0.0018		-0.0002	0.0001	-0.0012	-0.0042	0.0023
3421069.2115	0.0005		0.0034	0.0016	0.0011	0.0005	-0.0019	-0.0012	-0.0007	0.0018	0.0014		-0.0006	-0.0015	0.0021	0.0034	0.0017

- 1
- 06/03/2010 - 12\_14
- 2
- 08/03/2010 - 19\_21
- 3
- 09/03/2010 - 20\_22
- 4
- 09/03/2010 - 22\_24
- 5
- 10/03/2010 - 04\_06
- 6
- 11/03/2010 - 15\_17
- 7
- 16/03/2010 - 11\_13
- 8
- 16/03/2010 - 18\_20
- 9
- 17/03/2010 - 20\_22
- 10
- 18/03/2010 - 09\_11
- 11
- 18/03/2010 - 00\_02
- 12
- 19/03/2010 - 03\_05

Tabela D.5 - Cadência de 30 segundos

IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-2H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variancia
UTM	322294.9317	322294.9326	322294.9364	322294.9348	322294.9378	322294.9392	322294.9373	322294.9364	322294.9363	322294.9352	322294.9358	322294.9363	322294.9358	0.0041	0.0032	-0.0006	0.0010	-0.0020	-0.0034	-0.0015	-0.0006	-0.0005	0.0006	0.0000	-0.0005	0.0041	0.0021	0.0000
	3613359.9521	3613359.9554	3613359.9555	3613359.9545	3613359.9572	3613359.9559	3613359.9553	3613359.9542	3613359.9549	3613359.9557	3613359.9552	3613359.9538	3613359.9550	0.0022	-0.0004	-0.0005	0.0005	-0.0022	-0.0009	-0.0003	0.0008	0.0001	-0.0007	-0.0002	0.0012	0.0028	0.0013	0.0000
	18.5749	18.5712	18.5721	18.5759	18.5757	18.5731	18.5757	18.5739	18.5745	18.5756	18.5784	18.5736	18.5746	-0.0004	0.0033	0.0024	-0.0014	-0.0012	0.0014	-0.0007	0.0007	0.0000	-0.0011	-0.0038	0.0009	-0.0038	0.0019	0.0000
WGS84	5143649.5639	5143649.5595	5143649.5612	5143649.5644	5143649.5636	5143649.5626	5143649.5645	5143649.5634	5143649.5634	5143649.5636	5143649.5662	5143649.5633	5143649.5633	-0.0006	0.0038	0.0021	-0.0011	-0.0003	0.0007	-0.0012	-0.0001	-0.0001	-0.0003	-0.0029	0.0000	0.0038	0.0017	0.0000
	-1562619.0184	-1562619.0162	-1562619.0128	-1562619.0154	-1562619.0121	-1562619.0102	-1562619.0128	-1562619.0133	-1562619.0135	-1562619.0147	-1562619.0149	-1562619.0134	-1562619.0140	0.0044	0.0022	-0.0012	0.0014	-0.0019	-0.0038	-0.0012	-0.0007	-0.0005	0.0007	0.0009	-0.0006	0.0044	0.0021	0.0000
	3421069.2083	3421069.2091	3421069.2098	3421069.2110	3421069.2132	3421069.2107	3421069.2116	3421069.2096	3421069.2106	3421069.2118	3421069.2129	3421069.2091	3421069.2106	0.0023	0.0015	0.0008	-0.0004	-0.0026	-0.0001	-0.0010	0.0010	0.0000	-0.0012	-0.0023	0.0015	-0.0026	0.0015	0.0000

Δ12	Δ13	Δ14	Δ15	Δ16	Δ17	Δ18	Δ19	Δ110	Δ111	Δ112	Δ23	Δ24	Δ25	Δ26	Δ27	Δ28	Δ29	Δ210	Δ211	Δ212	Δ34	Δ35	Δ36	Δ37	Δ38
-0.0009	-0.0047	-0.0031	-0.0061	-0.0075	-0.0056	-0.0047	-0.0046	-0.0035	-0.0041	-0.0046	-0.0038	-0.0022	-0.0052	-0.0066	-0.0047	-0.0038	-0.0037	-0.0028	-0.0032	-0.0037	0.0016	-0.0014	-0.0028	-0.0009	0.0000
-0.0033	-0.0034	-0.0024	-0.0051	-0.0038	-0.0032	-0.0021	-0.0028	-0.0036	-0.0031	-0.0017	-0.0001	0.0009	-0.0018	-0.0005	0.0001	0.0012	0.0005	-0.0003	0.0002	0.0016	0.0010	-0.0017	-0.0004	0.0002	0.0013
0.0037	0.0028	-0.0010	-0.0008	0.0018	-0.0008	0.0010	0.0004	-0.0007	-0.0035	0.0013	-0.0009	-0.0047	-0.0045	-0.0019	-0.0045	-0.0027	-0.0033	-0.0044	-0.0072	-0.0024	-0.0038	-0.0036	-0.0010	-0.0036	-0.0018
0.0044	0.0027	-0.0005	0.0003	0.0013	-0.0006	0.0005	0.0003	-0.0023	0.0006	-0.0017	-0.0049	-0.0041	-0.0031	-0.0050	-0.0039	-0.0039	-0.0041	-0.0067	-0.0038	-0.0032	-0.0024	-0.0014	-0.0033	-0.0022	-0.0022
-0.0022	-0.0056	-0.0030	-0.0063	-0.0062	-0.0056	-0.0051	-0.0048	-0.0037	-0.0035	-0.0050	-0.0034	-0.0028	-0.0041	-0.0060	-0.0034	-0.0029	-0.0027	-0.0015	-0.0013	-0.0028	0.0026	-0.0007	-0.0026	0.0000	0.0005
-0.0008	-0.0015	-0.0027	-0.0049	-0.0024	-0.0033	-0.0013	-0.0023	-0.0035	-0.0046	-0.0008	-0.0007	-0.0019	-0.0041	-0.0016	-0.0025	-0.0005	-0.0015	-0.0027	-0.0038	0.0000	-0.0012	-0.0034	-0.0009	-0.0018	0.0002

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
-0.0030	-0.0044	-0.0025	-0.0016	-0.0015	-0.0004	-0.0010	-0.0015	-0.0014	0.0005	0.0014	0.0015	0.0026	0.0020	0.0015	0.0019	0.0028	0.0029	0.0040	0.0034	0.0029	0.0009	0.0010	0.0021	0.0015	0.0010
-0.0027	-0.0008	0.0003	-0.0004	-0.0012	-0.0007	0.0007	0.0013	0.0019	0.0030	0.0023	0.0015	0.0020	0.0020	0.0034	0.0006	0.0017	0.0010	0.0002	0.0007	0.0021	0.0011	0.0004	0.0001	0.0015	0.0015
0.0002	0.0028	0.0002	0.0020	0.0014	0.0003	-0.0025	0.0023	0.0026	0.0000	0.0018	0.0012	0.0001	-0.0027	0.0021	-0.0026	-0.0008	-0.0014	-0.0025	-0.0053	-0.0005	0.0018	0.0012	0.0001	-0.0027	0.0021
0.0008	0.0018	-0.0001	0.0010	0.0008	-0.0018	0.0011	0.0010	-0.0009	0.0002	0.0002	0.0000	-0.0026	0.0003	-0.0019	-0.0008	-0.0008	-0.0010	-0.0036	-0.0007	0.0011	0.0011	0.0009	-0.0017	0.0012	0.0012
-0.0033	-0.0052	-0.0026	-0.0019	-0.0007	-0.0005	-0.0020	-0.0005	0.0007	0.0012	0.0014	0.0026	0.0028	0.0013	0.0026	0.0031	0.0033	0.0045	0.0047	0.0032	0.0005	0.0007	0.0019	0.0021	0.0006	0.0005
-0.0022	0.0003	-0.0006	0.0014	0.0004	-0.0008	-0.0019	0.0019	0.0025	0.0016	0.0036	0.0026	0.0014	0.0003	0.0041	-0.0009	0.0011	0.0001	-0.0011	-0.0022	0.0016	0.0020	0.0010	-0.0002	-0.0013	0.0025

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0001	0.0012	0.0006	0.0001	0.0011	0.0005	0.0000	-0.0006	-0.0011	-0.0005	-0.0078
-0.0007	-0.0015	-0.0010	0.0004	-0.0008	-0.0003	0.0011	0.0005	0.0019	0.0014	-0.0051
-0.0006	-0.0017	-0.0045	0.0003	-0.0011	-0.0039	0.0009	-0.0028	0.0020	0.0048	-0.0072
0.0000	-0.0002	-0.0028	0.0001	-0.0002	-0.0028	0.0001	-0.0026	0.0003	0.0029	-0.0067
0.0002	0.0014	0.0016	0.0001	0.0012	0.0014	-0.0001	0.0002	-0.0013	-0.0015	-0.0082
-0.0010	-0.0022	-0.0033	0.0005	-0.0012	-0.0023	0.0015	-0.0011	0.0027	0.0038	-0.0049

FINAL	ΔFINAL	FINAL-2H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0002		0.0039	0.0030	-0.0008	0.0008	-0.0022	-0.0036	-0.0017	-0.0008	-0.0007	-0.0007	0.0004	-0.0002	-0.0007	0.0039	0.0021
3613359.9548	-0.0001		0.0027	-0.0006	-0.0007	0.0003	-0.0024	-0.0011	-0.0005	0.0006	-0.0001	-0.0009	-0.0004	0.0010	0.0027	0.0027	0.0013
18.5763	0.0017		0.0014	0.0051	0.0042	0.0004	0.0006	0.0032	0.0006	0.0024	0.0018	0.0007	-0.0021	0.0027	0.0051	0.0026	0.0026
5143649.5647	0.0014		0.0008	0.0052	0.0035	0.0003	0.0011	0.0021	0.0002	0.0013	0.0013	0.0011	-0.0015	0.0014	0.0052	0.0022	0.0022
-1562619.0147	-0.0007		0.0037	0.0015	-0.0019	0.0007	-0.0026	-0.0045	-0.0019	-0.0014	-0.0012	0.0000	0.0002	-0.0013	-0.0045	0.0022	0.0022
3421069.2115	0.0008		0.0032	0.0024	0.0017	0.0005	-0.0017	0.0008	-0.0001	0.0019	0.0009	-0.0003	-0.0014	0.0024	0.0032	0.0018	0.0018

- 1
- 06/03/2010 - 12\_14
- 2
- 08/03/2010 - 19\_21
- 3
- 09/03/2010 - 20\_22
- 4
- 09/03/2010 - 22\_24
- 5
- 10/03/2010 - 04\_06
- 6
- 11/03/2010 - 15\_17
- 7
- 16/03/2010 - 11\_13
- 8
- 16/03/2010 - 18\_20
- 9
- 17/03/2010 - 20\_22
- 10
- 18/03/2010 - 09\_11
- 11
- 18/03/2010 - 00\_02
- 12
- 19/03/2010 - 03\_05

Tabela D.6 - Máscara de altura de satélites de 10°

IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-2H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variancia
UTM	322294.9310	322294.9326	322294.9368	322294.9347	322294.9378	322294.9380	322294.9369	322294.9365	322294.9363	322294.9353	322294.9356	322294.9364	322294.9357	0.0047	0.0031	-0.0011	0.0010	-0.0021	-0.0028	-0.0012	-0.0008	-0.0006	0.0004	0.0001	-0.0007	0.0047	0.0021	0.0000
	3613359.9524	3613359.9553	3613359.9557	3613359.9545	3613359.9572	3613359.9566	3613359.9566	3613359.9542	3613359.9550	3613359.9558	3613359.9552	3613359.9536	3613359.9551	0.0027	-0.0002	-0.0006	0.0006	-0.0021	-0.0015	-0.0007	0.0009	-0.0001	-0.0007	-0.0001	0.0015	0.0027	0.0013	0.0000
	18.5749	18.5704	18.5720	18.5760	18.5756	18.5714	18.5760	18.5740	18.5745	18.5755	18.5785	18.5738	18.5744	-0.0005	0.0040	0.0024	-0.0016	-0.0012	0.0030	-0.0016	0.0004	-0.0001	-0.0011	-0.0041	0.0006	-0.0041	0.0023	0.0000
WGS84	5143649.5635	5143649.5588	5143649.5611	5143649.5644	5143649.5635	5143649.5605	5143649.5643	5143649.5635	5143649.5633	5143649.5634	5143649.5663	5143649.5635	5143649.5630	-0.0005	0.0042	0.0019	-0.0014	-0.0005	0.0025	-0.0013	-0.0005	-0.0003	-0.0004	-0.0033	-0.0005	0.0042	0.0020	0.0000
	-1562619.0191	-1562619.0160	-1562619.0123	-1562619.0155	-1562619.0121	-1562619.0109	-1562619.0132	-1562619.0133	-1562619.0135	-1562619.0146	-1562619.0151	-1562619.0135	-1562619.0141	0.0050	0.0019	-0.0018	0.0014	-0.0020	-0.0032	-0.0009	-0.0008	-0.0006	0.0005	0.0010	-0.0006	0.0050	0.0022	0.0000
	3421069.2086	3421069.2089	3421069.2093	3421069.2110	3421069.2132	3421069.2103	3421069.2121	3421069.2097	3421069.2106	3421069.2118	3421069.2130	3421069.2091	3421069.2107	0.0021	0.0021	0.0008	-0.0003	-0.0025	0.0004	-0.0014	0.0010	0.0001	-0.0011	-0.0023	0.0016	-0.0025	0.0016	0.0000

Δ12	Δ13	Δ14	Δ15	Δ16	Δ17	Δ18	Δ19	Δ110	Δ111	Δ112	Δ23	Δ24	Δ25	Δ26	Δ27	Δ28	Δ29	Δ210	Δ211	Δ212	Δ34	Δ35	Δ36	Δ37	Δ38
-0.0016	-0.0058	-0.0037	-0.0068	-0.0070	-0.0059	-0.0055	-0.0053	-0.0043	-0.0046	-0.0054	-0.0042	-0.0021	-0.0052	-0.0054	-0.0043	-0.0039	-0.0037	-0.0027	-0.0030	-0.0038	0.0021	-0.0010	-0.0012	-0.0001	0.0003
-0.0029	-0.0033	-0.0021	-0.0048	-0.0042	-0.0034	-0.0018	-0.0026	-0.0034	-0.0028	-0.0012	-0.0004	0.0008	-0.0019	-0.0013	-0.0005	0.0011	0.0003	-0.0005	0.0001	0.0017	0.0012	-0.0015	-0.0009	-0.0001	0.0015
0.0045	0.0029	-0.0011	-0.0007	0.0035	-0.0011	0.0009	0.0004	-0.0006	-0.0036	0.0011	-0.0016	-0.0056	-0.0052	-0.0010	-0.0056	-0.0036	-0.0041	-0.0051	-0.0081	-0.0034	-0.0040	-0.0036	0.0006	-0.0040	-0.0020
0.0047	0.0024	-0.0009	0.0000	0.0030	-0.0008	0.0000	0.0002	0.0001	-0.0028	0.0000	-0.0023	-0.0056	-0.0047	-0.0017	-0.0055	-0.0047	-0.0045	-0.0046	-0.0078	-0.0047	-0.0033	-0.0024	0.0006	-0.0032	-0.0028
-0.0031	-0.0068	-0.0056	-0.0070	-0.0082	-0.0059	-0.0058	-0.0056	-0.0045	-0.0040	-0.0056	-0.0037	-0.0005	-0.0039	-0.0051	0.0028	-0.0027	-0.0025	-0.0014	-0.0009	-0.0025	0.0032	-0.0002	-0.0014	0.0009	0.0010
0.0000	-0.0013	-0.0024	-0.0046	-0.0017	-0.0035	-0.0011	-0.0020	-0.0032	-0.0044	-0.0005	-0.0013	-0.0024	-0.0046	-0.0017	-0.0035	-0.0011	-0.0020	-0.0032	-0.0044	-0.0005	-0.0011	-0.0033	-0.0004	-0.0022	0.0002

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
-0.0031	-0.0033	-0.0022	-0.0018	-0.0016	-0.0006	-0.0009	-0.0017	-0.0002	0.0009	0.0013	0.0015	0.0025	0.0022	0.0014	0.0011	0.0015	0.0017	0.0027	0.0024	0.0016	0.0004	0.0006	0.0016	0.0013	0.0005
-0.0027	-0.0021	-0.0013	-0.0003	-0.0005	-0.0013	-0.0007	0.0009	0.0006	0.0014	0.0030	0.0022	0.0014	0.0020	0.0036	0.0008	0.0024	0.0016	0.0008	0.0014	0.0030	0.0016	0.0008	0.0000	0.0006	0.0022
0.0004	0.0046	0.0000	0.0020	0.0015	0.0005	-0.0025	0.0022	0.0042	-0.0004	0.0016	0.0011	0.0001	-0.0029	0.0018	-0.0046	-0.0026	-0.0031	-0.0041	-0.0071	-0.0024	0.0020	0.0015	0.0005	-0.0025	0.0022
0.0009	0.0039	0.0001	-0.0009	0.0011	0.0010	-0.0019	0.0009	0.0030	-0.0008	0.0000	0.0002	0.0001	-0.0028	0.0000	-0.0038	-0.0030	-0.0028	-0.0028	-0.0058	-0.0030	0.0008	0.0010	0.0009	-0.0020	0.0008
-0.0034	-0.0046	-0.0023	-0.0022	-0.0020	-0.0009	-0.0004	-0.0020	-0.0012	0.0011	0.0012	0.0014	0.0025	0.0030	0.0014	0.0023	0.0024	0.0026	0.0037	0.0042	0.0026	0.0001	0.0003	0.0014	0.0019	0.0003
-0.0022	0.0007	-0.0011	0.0013	0.0004	-0.0008	-0.0020	0.0019	0.0029	0.0011	0.0035	0.0026	0.0014	0.0002	0.0041	-0.0018	0.0006	-0.0003	-0.0015	-0.0027	0.0012	0.0024	0.0015	0.0003	-0.0009	0.0030

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0002	0.0012	0.0009	0.0001	0.0010	0.0007	-0.0001	-0.0003	-0.0011	-0.0008	-0.0070
-0.0008	-0.0016	-0.0010	0.0006	-0.0008	-0.0002	0.0014	0.0006	0.0022	0.0016	-0.0048
-0.0005	-0.0015	-0.0045	0.0002	-0.0010	-0.0040	0.0007	-0.0030	0.0017	0.0047	-0.0081
0.0002	0.0001	-0.0028	0.0000	-0.0001	-0.0030	-0.0002	-0.0029	-0.0001	0.0028	-0.0075
0.0002	0.0013	0.0018	0.0002	0.0011	0.0016	0.0000	0.0005	-0.0011	-0.0016	-0.0082
-0.0009	-0.0021	-0.0033	0.0006	-0.0012	-0.0024	0.0015	-0.0012	0.0027	0.0039	-0.0046

FINAL	ΔFINAL	FINAL-2H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0001		0.0046	0.0030	-0.0012	0.0009	-0.0022	-0.0024	-0.0013	-0.0009	-0.0007	0.0003	0.0000	-0.0008	0.0046	0.0021
3613359.9548	-0.0003		0.0024	-0.0005	-0.0009	0.0003	-0.0024	-0.0018	-0.0010	0.0006	-0.0002	-0.0010	-0.0004	0.0012	0.0024	0.0013
18.5763	0.0019		0.0014	0.0059	0.0043	0.0003	0.0007	0.0049	0.0003	0.0023	0.0018	0.0008	-0.0022	0.0025	0.0059	0.0030
5143649.5647	0.0017		0.0012	0.0059	0.0036	0.0003	0.0012	0.0042	0.0004	0.0012	0.0014	0.0013	-0.0016	0.0012	0.0059	0.0026
-1562619.0147	-0.0006		0.0044	0.0013	-0.0024	0.0008	-0.0026	-0.0038	-0.0015	-0.0014	-0.0012	-0.0001	0.0004	-0.0012	0.0044	0.0022
3421069.2115	0.0008		0.0029	0.0029	0.0016	0.0005	-0.0017	0.0012	-0.0006	0.0018	0.0009	-0.0003	-0.0015	0.0024	0.0029	0.0018

- 1
- 06/03/2010 - 12\_14
- 2
- 08/03/2010 - 19\_21
- 3
- 09/03/2010 - 20\_22
- 4
- 09/03/2010 - 22\_24
- 5
- 10/03/2010 - 04\_06
- 6
- 11/03/2010 - 15\_17
- 7
- 16/03/2010 - 11\_13
- 8
- 16/03/2010 - 18\_20
- 9
- 17/03/2010 - 20\_22
- 10
- 18/03/2010 - 09\_11
- 11
- 18/03/2010 - 00\_02
- 12
- 19/03/2010 - 03\_05

Tabela D.7 - Máscara de altura de satélites de 5º

IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-2H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variancia
UTM	322294.9330	322294.9328	322294.9370	322294.9364	322294.9387	322294.9401	322294.9386	322294.9382	322294.9369	322294.9370	322294.9372	322294.9373	322294.9369	0.0039	-0.0041	-0.0001	0.0005	-0.0018	-0.0032	-0.0017	-0.0013	0.0000	-0.0001	-0.0003	-0.0004	0.0041	0.0021	0.0000
	3613359.9518	3613359.9546	3613359.9548	3613359.9547	3613359.9572	3613359.9557	3613359.9549	3613359.9537	3613359.9554	3613359.9558	3613359.9548	3613359.9538	3613359.9548	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001	-0.0024	-0.0009	-0.0001	0.0011	-0.0006	-0.0010	-0.0000	0.0010	0.0030	0.0013	0.0000
WGS84	18.5843	18.5852	18.5821	18.5854	18.5856	18.5825	18.5849	18.5860	18.5819	18.5855	18.5885	18.5831	18.5846	0.0003	-0.0006	0.0025	-0.0008	-0.0010	0.0021	-0.0003	-0.0014	0.0027	-0.0009	-0.0039	0.0015	-0.0039	0.0019	0.0000
	5143649.5720	5143649.5712	5143649.5698	5143649.5724	5143649.5718	5143649.5705	5143649.5724	5143649.5738	5143649.5693	5143649.5720	5143649.5750	5143649.5712	5143649.5718	-0.0002	0.0006	0.0020	-0.0006	0.0000	0.0013	-0.0006	-0.0020	0.0025	-0.0002	-0.0032	0.0006	-0.0032	0.0006	0.0000
	-1562619.0195	-1562619.0196	-1562619.0148	-1562619.0162	-1562619.0136	-1562619.0117	-1562619.0139	-1562619.0146	-1562619.0147	-1562619.0154	-1562619.0161	-1562619.0148	-1562619.0154	0.0041	0.0042	-0.0006	0.0008	-0.0018	-0.0037	-0.0015	-0.0008	-0.0007	0.0000	0.0007	-0.0006	0.0042	0.0023	0.0000
	3421069.2132	3421069.2160	3421069.2146	3421069.2163	3421069.2185	3421069.2157	3421069.2162	3421069.2158	3421069.2150	3421069.2173	3421069.2180	3421069.2143	3421069.2159	0.0027	-0.0001	0.0013	-0.0004	-0.0026	0.0002	-0.0003	0.0001	0.0009	-0.0014	-0.0021	0.0016	0.0027	0.0015	0.0000

$\Delta_{12}$	$\Delta_{13}$	$\Delta_{14}$	$\Delta_{15}$	$\Delta_{16}$	$\Delta_{17}$	$\Delta_{18}$	$\Delta_{19}$	$\Delta_{110}$	$\Delta_{111}$	$\Delta_{112}$	$\Delta_{23}$	$\Delta_{24}$	$\Delta_{25}$	$\Delta_{26}$	$\Delta_{27}$	$\Delta_{28}$	$\Delta_{29}$	$\Delta_{210}$	$\Delta_{211}$	$\Delta_{212}$	$\Delta_{34}$	$\Delta_{35}$	$\Delta_{36}$	$\Delta_{37}$	$\Delta_{38}$
0.0002	-0.0040	-0.0034	-0.0057	-0.0071	-0.0056	-0.0052	-0.0039	-0.0040	-0.0042	-0.0043	-0.0042	-0.0036	-0.0059	-0.0073	-0.0058	-0.0054	-0.0041	-0.0042	-0.0044	-0.0045	0.0006	-0.0017	-0.0031	-0.0016	-0.0012
-0.0028	-0.0030	-0.0029	-0.0054	-0.0039	-0.0031	-0.0019	-0.0036	-0.0040	-0.0030	-0.0020	-0.0002	-0.0001	-0.0026	-0.0011	-0.0003	0.0009	-0.0008	-0.0012	-0.0002	0.0008	0.0001	-0.0024	-0.0009	-0.0001	0.0011
-0.0009	0.0022	-0.0011	-0.0013	0.0018	-0.0006	-0.0017	0.0024	-0.0012	-0.0042	0.0012	0.0031	-0.0002	-0.0004	0.0027	0.0003	-0.0008	0.0033	-0.0003	0.0021	-0.0033	-0.0035	-0.0004	-0.0028	-0.0039	-0.0004
0.0008	0.0022	-0.0004	0.0002	0.0015	-0.0004	-0.0018	0.0027	0.0000	-0.0030	0.0008	0.0014	-0.0012	-0.0006	0.0007	-0.0012	-0.0026	0.0019	-0.0008	-0.0038	0.0000	-0.0026	-0.0020	-0.0007	-0.0026	-0.0040
0.0001	-0.0047	-0.0033	-0.0059	-0.0078	-0.0056	-0.0048	-0.0048	-0.0041	-0.0034	-0.0047	-0.0048	-0.0034	-0.0060	-0.0078	0.0057	-0.0050	-0.0049	-0.0042	-0.0035	-0.0048	0.0014	-0.0012	-0.0031	-0.0009	-0.0002
-0.0028	-0.0014	-0.0031	-0.0053	-0.0025	-0.0030	-0.0026	-0.0018	-0.0041	-0.0048	-0.0011	0.0014	-0.0003	-0.0025	0.0003	-0.0002	0.0002	0.0010	-0.0013	-0.0020	0.0017	-0.0017	-0.0039	-0.0011	-0.0016	-0.0012

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
-0.0023	-0.0037	-0.0022	-0.0018	-0.0005	-0.0006	-0.0008	-0.0009	-0.0014	0.0001	0.0005	0.0018	0.0017	0.0015	0.0014	0.0015	0.0019	0.0032	0.0031	0.0029	0.0028	0.0004	0.0017	0.0016	0.0014	0.0013
-0.0025	-0.0010	-0.0002	0.0010	-0.0007	-0.0011	-0.0001	0.0009	0.0015	0.0023	0.0035	0.0018	0.0014	0.0024	0.0034	0.0008	0.0020	0.0003	-0.0001	0.0009	0.0019	0.0012	-0.0005	-0.0009	0.0001	0.0011
-0.0002	0.0029	0.0005	-0.0006	0.0035	-0.0001	-0.0031	0.0023	0.0031	0.0007	-0.0004	0.0037	0.0001	-0.0029	0.0025	-0.0024	-0.0035	0.0006	-0.0030	-0.0060	-0.0006	-0.0011	0.0030	-0.0006	-0.0036	0.0018
0.0006	0.0019	0.0000	-0.0014	0.0031	0.0004	-0.0026	0.0012	0.0013	-0.0006	-0.0020	0.0025	-0.0002	-0.0032	0.0006	-0.0019	-0.0033	0.0012	-0.0015	-0.0045	-0.0007	-0.0014	0.0031	0.0004	-0.0026	0.0012
-0.0026	-0.0045	-0.0023	-0.0016	-0.0015	-0.0008	-0.0001	-0.0014	-0.0019	0.0003	0.0010	0.0011	0.0018	0.0025	0.0012	0.0022	0.0029	0.0030	0.0037	0.0044	0.0031	0.0007	0.0008	0.0015	0.0022	0.0009
-0.0022	0.0006	0.0001	0.0005	0.0013	-0.0010	-0.0017	0.0020	0.0028	0.0023	0.0027	0.0035	0.0012	0.0005	0.0042	-0.0005	-0.0001	0.0007	-0.0016	-0.0023	0.0014	0.0004	0.0012	-0.0011	-0.0018	0.0019

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ910	Δ911	Δ912	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
0.0013	0.0012	0.0010	0.0009	-0.0001	-0.0003	-0.0004	-0.0002	-0.0003	-0.0001	-0.0073
-0.0017	-0.0021	-0.0011	-0.0001	-0.0004	0.0006	0.0016	0.0010	0.0020	0.0010	-0.0054
0.0041	0.0005	-0.0025	0.0029	-0.0036	-0.0066	-0.0012	-0.0030	0.0024	0.0054	-0.0066
0.0045	0.0018	-0.0012	0.0026	-0.0027	-0.0057	-0.0019	-0.0030	0.0008	0.0038	-0.0057
0.0001	0.0008	0.0015	0.0002	0.0007	0.0014	0.0001	0.0007	-0.0006	-0.0013	-0.0079
0.0008	-0.0015	-0.0022	0.0015	-0.0023	-0.0030	0.0007	-0.0007	0.0030	0.0037	-0.0053

FINAL	ΔFINAL	FINAL-2H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	-0.0014		0.0026	0.0028	-0.0014	-0.0008	-0.0031	-0.0045	-0.0030	-0.0026	-0.0013	0.0014	-0.0015	-0.0017	-0.0045	0.0026
3613359.9548	0.0001		0.0030	0.0002	0.0000	0.0001	-0.0024	-0.0009	-0.0001	-0.0006	0.0011	-0.0010	0.0000	0.0010	0.0030	0.0013
18.5763	-0.0093		-0.0080	-0.0089	-0.0058	-0.0091	-0.0093	-0.0062	-0.0086	-0.0097	-0.0056	-0.0092	-0.0122	-0.0068	-0.0122	0.0089
5143649.5647	-0.0071		-0.0073	-0.0065	-0.0051	-0.0077	-0.0071	-0.0058	-0.0078	-0.0091	-0.0046	-0.0073	-0.0103	-0.0065	-0.0103	0.0076
-1562619.0147	0.0007		0.0048	0.0049	0.0001	0.0015	-0.0011	-0.0030	-0.0008	-0.0001	0.0000	0.0007	0.0014	0.0001	0.0049	0.0024
3421069.2115	-0.0044		-0.0017	-0.0045	-0.0031	-0.0048	-0.0070	-0.0042	-0.0047	-0.0043	-0.0035	-0.0058	-0.0065	-0.0028	-0.0070	0.0049

- 1
- 06/03/2010 - 12\_14
- 2
- 08/03/2010 - 19\_21
- 3
- 09/03/2010 - 20\_22
- 4
- 09/03/2010 - 22\_24
- 5
- 10/03/2010 - 04\_06
- 6
- 11/03/2010 - 15\_17
- 7
- 16/03/2010 - 11\_13
- 8
- 16/03/2010 - 18\_20
- 9
- 17/03/2010 - 20\_22
- 10
- 18/03/2010 - 09\_11
- 11
- 18/03/2010 - 00\_02
- 12
- 19/03/2010 - 03\_05

Tabela D.8 - Troposfera

IGP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	FINAL-2H	Δ1	Δ2	Δ3	Δ4	Δ5	Δ6	Δ7	Δ8	Δ9	Δ10	Δ11	Δ12	ΔMAX	Desvio Padrão	Variancia
UTM	322294.9310	322294.9314	322294.9356	322294.9344	322294.9374	322294.9383	322294.9360	322294.9356	322294.9361	322294.9352	322294.9352	322294.9361	322294.9352	0.0042	0.0038	-0.0004	0.0008	-0.0022	-0.0031	-0.0008	-0.0006	-0.0009	0.0000	0.0000	-0.0009	0.0042	0.0021	0.0000
	3613359.9522	3613359.9555	3613359.9555	3613359.9547	3613359.9573	3613359.9561	3613359.9556	3613359.9547	3613359.9549	3613359.9542	3613359.9550	3613359.9539	3613359.9551	0.0020	-0.0004	-0.0004	0.0004	-0.0022	-0.0010	-0.0005	0.0004	0.0002	-0.0011	0.0001	0.0012	0.0029	0.0013	0.0000
WGS84	18.5751	18.5731	18.5730	18.5758	18.5761	18.5728	18.5758	18.5738	18.5735	18.5758	18.5784	18.5736	18.5747	-0.0004	0.0016	0.0017	-0.0011	-0.0014	0.0019	-0.0011	0.0009	0.0012	-0.0011	-0.0037	0.0011	-0.0037	0.0017	0.0000
	5143649.5638	5143649.5606	5143649.5617	5143649.5640	5143649.5637	5143649.5619	5143649.5641	5143649.5628	5143649.5625	5143649.5634	5143649.5662	5143649.5632	5143649.5647	-0.0006	0.0026	0.0015	-0.0008	-0.0005	0.0013	-0.0009	0.0004	0.0007	-0.0002	-0.0030	0.0000	-0.0030	0.0014	0.0000
	-1562619.0192	-1562619.0178	-1562619.0138	-1562619.0157	-1562619.0125	-1562619.0110	-1562619.0140	-1562619.0139	-1562619.0134	-1562619.0147	-1562619.0155	-1562619.0136	-1562619.0146	-0.0046	0.0032	-0.0008	0.0011	-0.0021	-0.0036	-0.0006	-0.0007	-0.0012	0.0001	0.0009	-0.0010	0.0046	0.0022	0.0000
	3421069.2085	3421069.2102	3421069.2103	3421069.2111	3421069.2135	3421069.2107	3421069.2118	3421069.2100	3421069.2100	3421069.2124	3421069.2127	3421069.2093	3421069.2109	0.0024	0.0007	0.0006	-0.0002	-0.0026	0.0002	-0.0009	0.0009	0.0009	-0.0015	-0.0018	-0.0016	-0.0026	0.0015	0.0000

Δ12	Δ13	Δ14	Δ15	Δ16	Δ17	Δ18	Δ19	Δ110	Δ111	Δ112	Δ23	Δ24	Δ25	Δ26	Δ27	Δ28	Δ29	Δ210	Δ211	Δ212	Δ34	Δ35	Δ36	Δ37	Δ38
-0.0004	-0.0046	-0.0034	-0.0064	-0.0073	-0.0050	-0.0048	-0.0051	-0.0042	-0.0042	-0.0051	-0.0042	-0.0030	-0.0060	-0.0069	-0.0046	-0.0044	-0.0047	-0.0038	-0.0038	-0.0047	0.0012	-0.0018	-0.0027	-0.0004	-0.0002
-0.0033	-0.0033	-0.0025	-0.0051	-0.0039	-0.0034	-0.0025	-0.0027	-0.0040	-0.0028	-0.0017	0.0000	0.0008	-0.0018	-0.0006	-0.0001	0.0008	0.0006	-0.0007	0.0005	0.0016	0.0008	-0.0018	-0.0006	-0.0001	0.0008
0.0020	0.0021	-0.0007	-0.0010	0.0023	-0.0007	0.0013	0.0016	-0.0007	-0.0033	0.0015	0.0001	-0.0027	-0.0030	0.0003	-0.0027	-0.0007	-0.0004	-0.0027	-0.0053	-0.0005	-0.0028	-0.0031	0.0002	-0.0028	-0.0008
0.0032	0.0021	-0.0002	0.0001	0.0019	-0.0003	0.0010	0.0013	0.0004	-0.0024	0.0006	-0.0011	-0.0034	-0.0031	-0.0013	-0.0035	-0.0022	-0.0019	-0.0028	-0.0056	-0.0026	-0.0023	-0.0020	-0.0002	-0.0024	-0.0011
-0.0014	-0.0054	-0.0035	-0.0067	-0.0062	-0.0052	-0.0053	-0.0058	-0.0045	-0.0037	-0.0056	-0.0040	-0.0021	-0.0063	-0.0068	-0.0038	-0.0039	-0.0044	-0.0031	-0.0023	-0.0042	0.0019	-0.0013	-0.0028	0.0002	0.0001
-0.0017	-0.0018	-0.0026	-0.0050	-0.0022	-0.0033	-0.0015	-0.0015	-0.0039	-0.0042	-0.0008	-0.0001	-0.0009	-0.0033	-0.0005	-0.0016	0.0002	0.0002	-0.0022	-0.0025	0.0009	-0.0008	-0.0032	-0.0004	-0.0015	0.0003

Δ45	Δ46	Δ47	Δ48	Δ49	Δ410	Δ411	Δ412	Δ56	Δ57	Δ58	Δ59	Δ510	Δ511	Δ512	Δ67	Δ68	Δ69	Δ610	Δ611	Δ612	Δ78	Δ79	Δ710	Δ711	Δ712
-0.0030	-0.0039	-0.0016	-0.0014	-0.0017	-0.0008	-0.0008	-0.0017	-0.0009	0.0014	0.0016	0.0013	0.0022	0.0022	0.0013	0.0023	0.0025	0.0022	0.0031	0.0031	0.0022	0.0002	-0.0001	0.0008	0.0008	-0.0001
-0.0026	-0.0014	-0.0009	0.0000	-0.0002	-0.0015	-0.0003	0.0008	0.0012	0.0017	0.0026	0.0024	0.0011	0.0023	0.0034	0.0005	0.0014	0.0012	-0.0001	0.0011	0.0022	0.0009	0.0007	-0.0006	0.0006	0.0017
-0.0003	0.0030	0.0000	0.0020	0.0023	0.0000	-0.0026	0.0022	0.0033	0.0003	0.0023	0.0026	0.0003	-0.0023	0.0025	-0.0030	-0.0010	-0.0007	-0.0030	-0.0056	-0.0008	0.0020	0.0023	0.0000	-0.0026	0.0022
0.0003	0.0021	-0.0001	0.0012	0.0006	-0.0022	0.0008	0.0018	-0.0004	0.0009	0.0012	0.0003	-0.0025	0.0005	-0.0022	-0.0009	-0.0006	-0.0015	-0.0043	-0.0013	0.0013	0.0016	0.0007	-0.0021	0.0009	-0.0004
-0.0032	-0.0047	-0.0017	-0.0018	-0.0023	-0.0010	-0.0002	-0.0021	-0.0015	0.0015	0.0014	0.0009	0.0022	0.0030	0.0011	0.0030	0.0029	0.0024	0.0037	0.0045	0.0026	-0.0001	-0.0006	0.0007	0.0015	-0.0004
-0.0024	0.0004	-0.0007	0.0011	0.0011	-0.0013	-0.0016	0.0018	0.0028	0.0017	0.0035	0.0035	0.0011	0.0008	0.0042	-0.0011	0.0007	0.0007	-0.0017	-0.0020	0.0014	0.0018	0.0018	-0.0006	-0.0009	0.0025

Δ89	Δ810	Δ811	Δ812	Δ810	Δ811	Δ812	Δ1011	Δ1012	Δ1112	Δ
-0.0003	0.0008	0.0008	-0.0003	0.0009	0.0009	0.0000	0.0000	-0.0009	-0.0009	-0.0073
-0.0002	-0.0015	-0.0003	0.0008	-0.0013	-0.0001	0.0010	0.0012	0.0023	0.0011	-0.0051
0.0003	-0.0020	-0.0046	0.0002	-0.0023	-0.0049	-0.0001	-0.0026	0.0022	0.0048	-0.0056
0.0003	-0.0006	-0.0034	-0.0004	-0.0009	-0.0037	-0.0007	-0.0028	0.0002	0.0030	-0.0056
-0.0005	0.0008	0.0016	-0.0003	0.0013	0.0021	0.0002	0.0008	-0.0011	-0.0019	-0.0082
0.0000	-0.0024	-0.0027	0.0007	-0.0024	-0.0027	0.0007	-0.0003	0.0031	0.0034	-0.0059

FINAL	ΔFINAL	FINAL-2H	Δ1 FINAL	Δ2 FINAL	Δ3 FINAL	Δ4 FINAL	Δ5 FINAL	Δ6 FINAL	Δ7 FINAL	Δ8 FINAL	Δ9 FINAL	Δ9 FINAL	Δ10 FINAL	Δ11 FINAL	Δ12 FINAL	ΔMAX	Desvio Padrão
322294.9356	0.0004		0.0046	0.0042	0.0000	0.0012	-0.0018	-0.0027	-0.0004	-0.0002	-0.0005	0.0004	0.0004	-0.0005	0.0046	0.0022	
3613359.9548	-0.0003		0.0026	-0.0007	-0.0007	0.0001	-0.0025	-0.0013	-0.0008	0.0001	-0.0001	-0.0014	-0.0002	0.0009	0.0026	0.0013	
18.5763	0.0015		0.0012	0.0032	0.0033	0.0005	0.0002	0.0035	0.0005	0.0025	0.0028	0.0005	0.0027	0.0027	0.0035	0.0023	
5143649.5647	0.0015		0.0009	0.0041	0.0030	0.0007	0.0010	0.0028	0.0006	0.0019	0.0022	0.0013	-0.0015	0.0015	0.0041	0.0021	
-1562619.0147	-0.0001		0.0045	0.0031	-0.0009	0.0010	-0.0022	-0.0037	-0.0007	-0.0008	-0.0013	0.0000	0.0006	-0.0011	0.0045	0.0022	
3421069.2115	0.0006		0.0030	0.0013	0.0012	0.0004	-0.0020	0.0008	-0.0003	0.0015	0.0015	-0.0009	-0.0012	0.0022	0.0030	0.0016	

- 1
- 06/03/2010 - 12\_14
- 2
- 08/03/2010 - 19\_21
- 3
- 09/03/2010 - 20\_22
- 4
- 09/03/2010 - 22\_24
- 5
- 10/03/2010 - 04\_06
- 6
- 11/03/2010 - 15\_17
- 7
- 16/03/2010 - 11\_13
- 8
- 16/03/2010 - 18\_20
- 9
- 17/03/2010 - 20\_22
- 10
- 18/03/2010 - 09\_11
- 11
- 18/03/2010 - 00\_02
- 12
- 19/03/2010 - 03\_05

Tabela D.9 - Ionosfera



## Anexo E





# track\_marcas\_BASE.txt

```

obs_file
  FUNC FUNC_<day>.10o F
x  MC01 MC01_<day>.10o K
x  MC02 MC02_<day>.10o K
x  MC03 MC03_<day>.10o K
x  MC04 MC04_<day>.10o K
x  MC05 MC05_<day>.10o K
x  MC06 MC06_<day>.10o K
x  MC07 MC07_<day>.10o K
x  MC08 MC08_<day>.10o K
x  MC09 MC09_<day>.10o K
x  MC10 MC10_<day>.10o K
x  MC11 MC11_<day>.10o K
x  MC12 MC12_<day>.10o K

nav_file igs<week>.sp3 sp3
x nav_file FUNC_<week>.10n nav
mode short

site_pos
  FUNC 5143339.4234 -1563412.8708 3421191.4378
x  MC01 5143684.5394 -1563444.7404 3420623.9386
x  MC02 5143688.5430 -1563445.9554 3420617.3521
x  MC03 5143692.4470 -1563447.2551 3420610.8209
x  MC04 5143696.5627 -1563448.4002 3420604.1729
x  MC05 5143700.8324 -1563449.7232 3420597.1687
x  MC06 5143697.7026 -1563459.7669 3420597.3276
x  MC07 5143694.8007 -1563469.1279 3420597.4542
x  MC08 5143694.2637 -1563470.6721 3420597.4012
x  MC09 5143691.0824 -1563481.0660 3420597.3471
x  MC10 5143668.5492 -1563555.5495 3420597.5607
x  MC11 5143643.1555 -1563639.1021 3420597.6752
x  MC12 5143600.8992 -1563778.2849 3420597.5655

ante_off
  FUNC 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0899 0.0000 0.0000 0.1179
  MC0X 0.0000 0.0000 0.1900 0.0000 0.0000 0.0644 0.0000 0.0000 0.0640
  MC0X 0.0000 0.0000 0.1900 0.0000 0.0000 0.0585 0.0000 0.0000 0.0555

bf_set 2 60

x debug

data_type L1 L2 L1+L2 LC

x edit_svs

x ambin_file

search_type L1+L2

x search_type LC

x back_type smooth

amb_cycle 20 5 1000000

pos_root VARIACOES_<day>

res_root RESIDUOS_<day>

sum_file SUMARIO_<day>.MC09.sum

x wls_root WLS_<day>

x rwl_root RWL_<day>

```

```
                                track_marcas_BASE.txt
out_type NEU
cut_off 10
x start_time 2010 05 10 13 39 30
interval 5
x num_epochs 7200
x exclude_svs 26 22 13
x stopgo_mode
    10 8 18 10 10 9.0000 2 2
    10 8 18 20 20 25.0000 3 1

x float_type 1 1 LC 0.25 1.0 1 0.1 25 12
x usr_addbf pin1 27 2003 12 22 19 38 29.00
```

## Anexo F



Época de Referência - 29 Maio 2010				1ª Época - 23 Junho 2010							2ª Época - 10 Dezembro 2010							3ª Época - 7 Janeiro 2011							4ª Época - 22 Março 2011							
TET	E(m)	N(m)	h(m)	E(m)	ΔE(m)	N(m)	ΔN(m)	h(m)	Δh(m)	ΔD(m)	E(m)	ΔE(m)	N(m)	ΔN(m)	h(m)	Δh(m)	ΔD(m)	E(m)	ΔE(m)	N(m)	ΔN(m)	h(m)	Δh(m)	ΔD(m)	E(m)	ΔE(m)	N(m)	ΔN(m)	h(m)	Δh(m)	ΔD(m)	
10	321168.730	3612819.006	4.207								321168.725	0.005	3612819.005	0.001	4.201	0.006	0.007	321168.722	0.008	3612819.005	0.000	4.201	0.006	0.010	321168.729	0.001	3612819.005	0.001	4.194	0.013	0.013	
11	321169.960	3612817.070	3.603								321169.951	0.009	3612817.051	0.020	3.588	0.014	0.026	321169.948	0.012	3612817.025	0.045	3.577	0.025	0.053	321169.951	0.009	3612817.027	0.043	3.568	0.034	0.056	
12	321174.594	3612817.137	3.996								321174.590	0.004	3612817.134	0.002	3.988	0.009	0.010	321174.595	0.001	3612817.132	0.005	3.983	0.013	0.014	321174.592	0.002	3612817.141	0.004	3.978	0.018	0.019	
13	321175.415	3612816.143	3.863								321175.655	0.240	3612815.951	0.192	3.740	0.123	0.331	321175.663	0.245	3612815.952	0.190	3.728	0.135	0.339	321175.663	0.248	3612815.957	0.186	3.722	0.141	0.340	
14	321177.375	3612818.411	3.915								321177.369	0.005	3612818.400	0.011	3.908	0.007	0.014	321177.371	0.004	3612818.393	0.018	3.908	0.007	0.020	321177.373	0.001	3612818.394	0.017	3.901	0.014	0.023	
15	321182.449	3612818.826	4.193								321182.436	0.013	3612818.811	0.014	4.184	0.009	0.021	321182.430	0.018	3612818.807	0.019	4.184	0.010	0.028	321182.435	0.014	3612818.808	0.018	4.177	0.017	0.029	
16	321186.155	3612819.665	4.323								321186.154	0.000	3612819.659	0.005	4.314	0.008	0.010	321186.153	0.001	3612819.655	0.010	4.311	0.011	0.015	321186.156	0.002	3612819.659	0.005	4.305	0.018	0.019	
17	321189.839	3612820.613	4.787								321189.838	0.001	3612820.608	0.005	4.782	0.005	0.007	321189.839	0.000	3612820.606	0.007	4.779	0.009	0.011	321189.845	0.006	3612820.614	0.001	4.776	0.011	0.013	
18	321180.980	3612817.057	3.748								321180.986	0.006	3612817.047	0.010	3.743	0.005	0.013	321180.989	0.009	3612817.042	0.014	3.741	0.006	0.018	321180.996	0.016	3612817.047	0.009	3.736	0.012	0.022	
19	321180.911	3612813.582	2.683								321180.907	0.004	3612813.574	0.008	2.676	0.007	0.011	321180.907	0.004	3612813.570	0.012	2.675	0.007	0.015	321180.914	0.003	3612813.569	0.012	2.666	0.017	0.021	
20	321178.895	3612815.161	3.419								321178.823	0.072	3612815.205	0.044	3.421	0.001	0.084	321178.825	0.070	3612815.199	0.038	3.419	0.000	0.080	321178.831	0.064	3612815.203	0.042	3.412	0.007	0.077	
21	321177.828	3612813.592	2.435								321177.833	0.005	3612813.582	0.010	2.434	0.001	0.011	321177.836	0.008	3612813.582	0.009	2.422	0.013	0.018	321177.716	0.112	3612813.494	0.098	2.376	0.059	0.160	
22	321171.046	3612813.874	2.294								321171.014	0.032	3612813.876	0.002	2.277	0.017	0.036	321171.015	0.031	3612813.906	0.032	2.286	0.008	0.046	321171.023	0.023	3612813.901	0.027				
30	321290.171	3612818.040	4.115								321290.163	0.007	3612818.035	0.005	4.104	0.011	0.014	321290.167	0.004	3612818.031	0.001	4.101	0.014	0.015								
31	321292.671	3612819.234	4.899								321292.661	0.011	3612819.245	0.011	4.905	0.006	0.016	321292.642	0.029	3612819.247	0.013	4.899	0.000	0.032								
32	321291.494	3612815.563	3.334								321291.494	0.000	3612815.564	0.001	3.334	0.001	0.001	321291.488	0.006	3612815.565	0.002	3.329	0.005	0.008								
33	321294.136	3612815.450	3.183								321294.146	0.010	3612815.440	0.010	3.172	0.011	0.018	321294.135	0.001	3612815.444	0.006	3.165	0.018	0.019								
34	321295.079	3612817.045	2.525								321295.089	0.010	3612817.045	0.000	2.525	0.000	0.010															
35																																
36	321296.904	3612816.798	4.153								321296.903	0.001	3612816.794	0.004	4.152	0.002	0.004	321296.899	0.005	3612816.796	0.002	4.146	0.007	0.009								
37	321302.227	3612815.064	3.556								321302.227	0.000	3612815.061	0.002	3.555	0.001	0.003	321302.221	0.006	3612815.058	0.006	3.548	0.008	0.011								
38	321303.685	3612814.354	3.403								321303.687	0.002	3612814.349	0.005	3.398	0.004	0.007	321303.681	0.004	3612814.353	0.001	3.395	0.007	0.009								
39	321305.119	3612813.952	2.897								321305.120	0.002	3612813.928	0.024	2.876	0.021	0.031															
40	321306.913	3612815.348	3.105								321306.916	0.002	3612815.351	0.003	3.109	0.004	0.006	321306.909	0.005	3612815.349	0.001	3.107	0.002	0.005								
50	321422.671	3612815.778	4.204	321422.673	0.001	3612815.784	-0.006	4.204	0.001	0.007	321422.668	0.004	3612815.780	0.002	4.197	0.008	0.009	321422.674	0.002	3612815.772	0.005	4.190	0.014	0.016	321422.677	0.005	3612815.770	0.007	4.190	0.014	0.017	
51	321417.982	3612815.246	3.774	321417.983	0.002	3612815.249	-0.002	3.769	0.005	0.006	321417.947	0.034	3612815.237	0.009	3.764	0.009	0.037	321417.948	0.034	3612815.222	0.024	3.754	0.019	0.046	321417.954	0.028	3612815.227	0.019	3.758	0.016	0.037	
52	321409.381	3612811.462	2.620	321409.390	0.009	3612811.461	0.000	2.618	0.002	0.009	321409.371	0.011	3612811.462	0.000	2.608	0.012	0.016	321409.377	0.005	3612811.466	0.005	2.605	0.015	0.016	321408.211	1.170	3612810.463	0.999	1.853	0.767	1.719	
53	321409.962	3612809.384	2.050	321409.973	0.012	3612809.381	0.003	2.049	0.001	0.012	321409.965	0.004	3612809.362	0.023	2.040	0.010	0.025	321409.954	0.007	3612809.414	0.030	2.054	0.004	0.031								
54	321413.266	3612810.646	2.015	321413.259	0.007	3612810.635	0.012	2.007	0.008	0.015	321413.262	0.004	3612810.629	0.017	1.999	0.016	0.024	321413.265	0.001	3612810.614	0.032	1.984	0.031	0.045	321413.230	0.036	3612810.565	0.081	1.962	0.053	0.103	
55	321413.925	3612810.007	2.301	321414.895	0.970	3612811.522	-1.515	2.705	-0.404	1.844	321416.851	2.926	3612808.145	1.862	1.890	0.411	3.493	321416.853	2.928	3612808.154	1.854	1.889	0.412	3.490	321414.907	0.982	3612811.528	1.521	2.703	0.402	1.854	
56	321417.528	3612810.141	2.431	321416.859	0.669	3612808.158	1.983	1.902	0.529	2.159	321414.896	2.632	3612811.529	1.388	2.707	0.276	2.988	321414.893	2.635	3612811.518	1.377	2.696	0.265	2.985								
57	321417.591	3612811.892	2.709	321417.595	0.004	3612811.895	0.003	2.707	0.003	0.006	321417.598	0.007	3612811.890	0.002	2.698	0.012	0.014	321417.597	0.005	3612811.884	0.008	2.695	0.014	0.017	321417.600	0.008	3612811.882	0.010	2.696	0.013	0.019	
58	321420.864	3612812.050	1.920	321420.868	0.004	3612812.055	-0.005	1.921	-0.001	0.006	321420.859	0.005	3612812.057	0.007	1.918	0.002	0.009	321420.861	0.003	3612812.050	0.000	1.914	0.006	0.007	321420.862	0.002	3612812.057	0.006	1.917	0.003	0.007	
59	321420.030	3612810.288	2.915	321420.037	0.007	3612810.298	-0.010	2.919	-0.004	0.013	321420.035	0.005	3612810.282	0.006	2.913	0.002	0.008	321420.036	0.006	3612810.266	0.022	2.908	0.007	0.024	321420.043	0.013	3612810.272	0.017	2.914	0.001	0.021	
60	321425.140	3612810.346	2.107	321425.129	0.010	3612810.360	-0.014	2.108	-0.001	0.017	321425.128	0.012	3612810.355	0.010	2.103	0.004	0.016	321425.131	0.009	3612810.347	0.001	2.100	0.007	0.012	321425.130	0.009	3612810.370	0.024	2.107	0.000	0.026	
61	321426.065	3612809.135	1.979	321426.058	0.007	3612809.145	-0.010	1.984	-0.005	0.014	321426.069	0.004	3612809.131	0.004	1.983	0.004	0.006	321426.064	0.000	3612809.127	0.008	1.980	0.001	0.008	321426.073	0.008	3612809.135	0.000	1.985	0.006	0.010	
62	321429.731	3612808.401	2.532	321429.718	0.013	3612808.408	-0.007	2.531	0.001	0.014	321429.727	0.004	3612808.408	0.007	2.527	0.005	0.010	321429.753	0.022	3612808.395	0.006	2.520	0.012	0.025	321429.745	0.014	3612808.403	0.002	2.525	0.007	0.016	
63	321431.802																															



## Anexo G





UTM

10 Maio 2010	321505.8178	3612851.5310	8.6981			
12 Maio 2010	321505.8164	3612851.5415	8.6968			
13 Maio 2010	321505.8193	3612851.5370	8.7013			
<b>Referência</b>	<b>321505.8178</b>	<b>3612851.5365</b>	<b>8.6987</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321505.8212	3612851.5321	8.6897	0.0034	-0.0044	-0.0090
23 Junho 2010	321505.8228	3612851.5277	8.7095	0.0050	-0.0088	0.0108
21 Julho 2010	321505.8767	3612851.4717	8.6863	0.0589	-0.0648	-0.0124
16 Outubro 2010	321505.8184	3612851.5352	8.7062	0.0006	-0.0013	0.0075
26 Novembro 2010	321506.0876	3612851.5855	8.5620	0.2698	0.0490	-0.1367
7 Janeiro 2011	321505.8191	3612851.5341	8.6941	0.0013	-0.0024	-0.0046
22 Março 2011	321505.8195	3612851.5336	8.7083	0.0017	-0.0029	0.0096
19 Agosto 2011	321505.7043	3612851.5286	8.6856	-0.1135	-0.0079	-0.0131
27 Janeiro 2012	321505.8237	3612851.5221	8.7063	0.0059	-0.0144	0.0076
17 Julho 2012	321505.9066	3612851.1624	8.9996	0.0888	-0.3741	0.3009

Locais

359.4139	52.1374	8.6981			
359.4122	52.1479	8.6968			
359.4152	52.1434	8.7013			
<b>359.4138</b>	<b>52.1429</b>	<b>8.6987</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
359.4173	52.1385	8.6897	0.0035	-0.0044	-0.0090
359.4190	52.1342	8.7095	0.0052	-0.0087	0.0108
359.4741	52.0792	8.6863	0.0603	-0.0637	-0.0124
359.4144	52.1416	8.7062	0.0006	-0.0013	0.0075
359.6823	52.1969	8.5620	0.2685	0.0540	-0.1367
359.4151	52.1405	8.6941	0.0013	-0.0024	-0.0046
359.4155	52.1400	8.7083	0.0017	-0.0029	0.0096
359.3005	52.1329	8.6856	-0.1133	-0.0100	-0.0131
359.4200	52.1286	8.7063	0.0062	-0.0143	0.0076
359.5112	51.7704	8.9996	0.0974	-0.3725	0.3009

Tabela G.1 - Coordenadas MC01

UTM

10 Maio 2010	321505.6791	3612843.7318	8.6778			
12 Maio 2010	321505.6805	3612843.7344	8.6683			
13 Maio 2010	321505.6810	3612843.7338	8.6728			
<b>Referência</b>	<b>321505.6802</b>	<b>3612843.7333</b>	<b>8.6730</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321505.6793	3612843.7326	8.6661	-0.0009	-0.0007	-0.0069
23 Junho 2010	321505.6799	3612843.7339	8.6691	-0.0003	0.0006	-0.0039
21 Julho 2010	321505.6826	3612843.7316	8.6745	0.0024	-0.0017	0.0015
16 Outubro 2010	321505.6812	3612843.7291	8.6685	0.0010	-0.0042	-0.0045
26 Novembro 2010	321505.6801	3612843.7316	8.6713	-0.0001	-0.0017	-0.0017
7 Janeiro 2011	321505.6795	3612843.7326	8.6706	-0.0007	-0.0007	-0.0024
22 Março 2011	321505.6794	3612843.7319	8.6680	-0.0008	-0.0014	-0.0050
19 Agosto 2011	321505.6827	3612843.7321	8.6692	0.0025	-0.0012	-0.0038
27 Janeiro 2012	321505.6803	3612843.7285	8.6666	0.0001	-0.0048	-0.0064
17 Julho 2012	321505.6833	3612843.7298	8.6710	0.0031	-0.0035	-0.0020

Locais

359.4568	44.3351	8.6778			
359.4581	44.3378	8.6683			
359.4586	44.3372	8.6728			
<b>359.4579</b>	<b>44.3367</b>	<b>8.6730</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
359.4570	44.3359	8.6661	-0.0009	-0.0008	-0.0069
359.4575	44.3373	8.6691	-0.0004	0.0006	-0.0039
359.4603	44.3350	8.6745	0.0024	-0.0017	0.0015
359.4590	44.3325	8.6685	0.0011	-0.0042	-0.0045
359.4578	44.3350	8.6713	-0.0001	-0.0017	-0.0017
359.4572	44.3359	8.6706	-0.0007	-0.0008	-0.0024
359.4571	44.3352	8.6680	-0.0008	-0.0015	-0.0050
359.4604	44.3355	8.6692	0.0025	-0.0012	-0.0038
359.4581	44.3319	8.6666	0.0002	-0.0048	-0.0064
359.4610	44.3332	8.6710	0.0031	-0.0035	-0.0020

Tabela G.2 - Coordenadas MC02

UTM

10 Maio 2010	321505.4325	3612836.0179	8.6116			
12 Maio 2010	321505.4329	3612836.0211	8.6130			
13 Maio 2010	321505.4346	3612836.0166	8.6098			
<b>Referência</b>	<b>321505.4333</b>	<b>3612836.0185</b>	<b>8.6115</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321505.4344	3612836.0198	8.6071	0.0011	0.0013	-0.0044
23 Junho 2010	321505.4352	3612836.0209	8.6175	0.0019	0.0024	0.0060
21Julho 2010	321505.4362	3612836.0183	8.6163	0.0029	-0.0002	0.0048
16 Outubro 2010	321505.4340	3612836.0141	8.6186	0.0007	-0.0044	0.0071
26 Novembro 2010	321505.4341	3612836.0174	8.6129	0.0008	-0.0011	0.0014
7 Janeiro 2011	321505.4325	3612836.0165	8.6179	-0.0008	-0.0020	0.0064
22 Março 2011	321505.4325	3612836.0172	8.6150	-0.0008	-0.0013	0.0035
19 Agosto 2011	321505.4354	3612836.0162	8.6103	0.0021	-0.0023	-0.0012
27 Janeiro 2012	321505.4342	3612836.0166	8.6152	0.0009	-0.0019	0.0037
17 Julho 2012	321505.4369	3612836.0158	8.6164	0.0036	-0.0027	0.0049

Locais

359.3898	36.6162	8.6116			
359.3902	36.6194	8.6130			
359.3920	36.6150	8.6098			
<b>359.3907</b>	<b>36.6169</b>	<b>8.6115</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
359.3917	36.6182	8.6071	0.0010	0.0013	-0.0044
359.3925	36.6193	8.6175	0.0018	0.0024	0.0060
359.3935	36.6167	8.6163	0.0028	-0.0002	0.0048
359.3914	36.6124	8.6186	0.0007	-0.0045	0.0071
359.3915	36.6157	8.6129	0.0008	-0.0012	0.0014
359.3899	36.6148	8.6179	-0.0008	-0.0021	0.0064
359.3899	36.6155	8.6150	-0.0008	-0.0014	0.0035
359.3928	36.6146	8.6103	0.0021	-0.0023	-0.0012
359.3916	36.6149	8.6152	0.0009	-0.0020	0.0037
359.3943	36.6142	8.6164	0.0036	-0.0027	0.0049

Tabela G.3 - Coordenadas MC03

UTM

10 Maio 2010	321505.3919	3612828.1180	8.6207			
12 Maio 2010	321505.3928	3612828.1182	8.6220			
13 Maio 2010	321505.3931	3612828.1132	8.6231			
<b>Referência</b>	<b>321505.3926</b>	<b>3612828.1165</b>	<b>8.6219</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321505.3929	3612828.1141	8.6149	0.0003	-0.0024	-0.0070
23 Junho 2010	321505.3952	3612828.1189	8.6279	0.0026	0.0024	0.0060
21Julho 2010	321505.3959	3612828.1147	8.6269	0.0033	-0.0018	0.0050
16 Outubro 2010	321505.3919	3612828.1099	8.6289	-0.0007	-0.0066	0.0070
26 Novembro 2010	321505.3925	3612828.1140	8.6202	-0.0001	-0.0025	-0.0017
7 Janeiro 2011	321505.3926	3612828.1170	8.6214	0.0000	0.0005	-0.0005
22 Março 2011	321505.3916	3612828.1143	8.6287	-0.0010	-0.0022	0.0068
19 Agosto 2011	321505.3944	3612828.1109	8.6284	0.0018	-0.0056	0.0065
27 Janeiro 2012	321505.3925	3612828.1129	8.6234	-0.0001	-0.0036	0.0015
17 Julho 2012	321505.3947	3612828.1118	8.6245	0.0021	-0.0047	0.0026

Locais

359.5332	28.7151	8.6207			
359.5341	28.7153	8.6220			
359.5345	28.7103	8.6231			
<b>359.5339</b>	<b>28.7136</b>	<b>8.6219</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
359.5343	28.7112	8.6149	0.0004	-0.0024	-0.0070
359.5364	28.7160	8.6279	0.0025	0.0024	0.0060
359.5372	28.7119	8.6269	0.0033	-0.0017	0.0050
359.5334	28.7070	8.6289	-0.0005	-0.0066	0.0070
359.5339	28.7111	8.6202	0.0000	-0.0025	-0.0017
359.5339	28.7141	8.6214	0.0000	0.0005	-0.0005
359.5330	28.7114	8.6287	-0.0009	-0.0022	0.0068
359.5358	28.7080	8.6284	0.0019	-0.0056	0.0065
359.5339	28.7100	8.6234	0.0000	-0.0036	0.0015
359.5361	28.7089	8.6245	0.0022	-0.0047	0.0026

Tabela G.4 - Coordenadas MC04

UTM

10 Maio 2010	321505.2199	3612819.8082	8.6152			
12 Maio 2010	321505.2185	3612819.8107	8.6036			
13 Maio 2010	321505.2193	3612819.8093	8.6050			
<b>Referência</b>	<b>321505.2192</b>	<b>3612819.8094</b>	<b>8.6079</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321505.2187	3612819.8097	8.6020	-0.0005	0.0003	-0.0059
23 Junho 2010	321505.2203	3612819.8140	8.6103	0.0011	0.0046	0.0024
21 Julho 2010	321505.2178	3612819.8160	8.6026	-0.0014	0.0066	-0.0053
16 Outubro 2010	321505.2236	3612819.8075	8.6126	0.0044	-0.0019	0.0047
26 Novembro 2010	321505.2222	3612819.8079	8.6141	0.0030	-0.0015	0.0062
7 Janeiro 2011	321505.2208	3612819.8147	8.6131	0.0016	0.0053	0.0052
22 Março 2011	321505.2167	3612819.8166	8.6056	-0.0025	0.0072	-0.0023
19 Agosto 2011	321505.2162	3612819.8102	8.6059	-0.0030	0.0008	-0.0020
27 Janeiro 2012	321505.2198	3612819.8071	8.6025	0.0006	-0.0023	-0.0054
17 Julho 2012	321505.2254	3612819.8047	8.6100	0.0062	-0.0047	0.0021

Locais

359.5547	20.4016	8.6152			
359.5532	20.4041	8.6036			
359.5540	20.4027	8.6050			
<b>359.5540</b>	<b>20.4028</b>	<b>8.6079</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
359.5534	20.4031	8.6020	-0.0006	0.0003	-0.0059
359.5549	20.4074	8.6103	0.0009	0.0046	0.0024
359.5524	20.4094	8.6026	-0.0016	0.0066	-0.0053
359.5584	20.4010	8.6126	0.0044	-0.0018	0.0047
359.5570	20.4013	8.6141	0.0030	-0.0015	0.0062
359.5554	20.4081	8.6131	0.0014	0.0053	0.0052
359.5513	20.4099	8.6056	-0.0027	0.0071	-0.0023
359.5509	20.4035	8.6059	-0.0031	0.0007	-0.0020
359.5546	20.4005	8.6025	0.0006	-0.0023	-0.0054
359.5603	20.3982	8.6100	0.0063	-0.0046	0.0021

Tabela G.5 - Coordenadas MC05

UTM

10 Maio 2010	321494.7052	3612820.1718	8.6325			
12 Maio 2010	321494.7051	3612820.1723	8.6296			
13 Maio 2010	321494.7029	3612820.1715	8.6322			
<b>Referência</b>	<b>321494.7044</b>	<b>3612820.1719</b>	<b>8.6314</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321494.7045	3612820.1739	8.6244	0.0001	0.0020	-0.0070
23 Junho 2010	321494.7045	3612820.1747	8.6354	0.0001	0.0028	0.0040
21 Julho 2010	321494.7056	3612820.1718	8.6308	0.0012	-0.0001	-0.0006
16 Outubro 2010	321494.7039	3612820.1714	8.6386	-0.0005	-0.0005	0.0072
26 Novembro 2010	321494.7064	3612820.1725	8.6296	0.0020	0.0006	-0.0018
7 Janeiro 2011	321494.7039	3612820.1746	8.6326	-0.0005	0.0027	0.0012
22 Março 2011	321494.7047	3612820.1736	8.6310	0.0003	0.0017	-0.0004
19 Agosto 2011	321494.7053	3612820.1689	8.6288	0.0009	-0.0030	-0.0026
27 Janeiro 2012	321494.7040	3612820.1689	8.6246	-0.0004	-0.0030	-0.0068
17 Julho 2012	321494.7062	3612820.1704	8.6331	0.0018	-0.0015	0.0017

Locais

349.0342	20.5714	8.6325			
349.0341	20.5719	8.6296			
349.0319	20.5710	8.6322			
<b>349.0334</b>	<b>20.5714</b>	<b>8.6314</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
349.0335	20.5735	8.6244	0.0001	0.0021	-0.0070
349.0335	20.5743	8.6354	0.0001	0.0029	0.0040
349.0346	20.5714	8.6308	0.0012	0.0000	-0.0006
349.0329	20.5709	8.6386	-0.0005	-0.0005	0.0072
349.0354	20.5721	8.6296	0.0020	0.0007	-0.0018
349.0329	20.5741	8.6326	-0.0005	0.0027	0.0012
349.0337	20.5732	8.6310	0.0003	0.0018	-0.0004
349.0344	20.5685	8.6288	0.0010	-0.0029	-0.0026
349.0331	20.5684	8.6246	-0.0003	-0.0030	-0.0068
349.0353	20.5700	8.6331	0.0019	-0.0014	0.0017

Tabela G.6 - Coordenadas MC06

UTM

10 Maio 2010	321484.9084	3612820.4838	8.6632			
12 Maio 2010	321484.9077	3612820.4858	8.6506			
13 Maio 2010	321484.9085	3612820.4814	8.6529			
<b>Referência</b>	<b>321484.9082</b>	<b>3612820.4837</b>	<b>8.6556</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321484.9081	3612820.4828	8.6540	-0.0001	-0.0009	-0.0016
23 Junho 2010	321484.9083	3612820.4836	8.6514	0.0001	-0.0001	-0.0042
21 Julho 2010	321484.9086	3612820.4843	8.6525	0.0004	0.0006	-0.0031
16 Outubro 2010	321484.9079	3612820.4835	8.6584	-0.0003	-0.0002	0.0028
26 Novembro 2010	321484.9083	3612820.4834	8.6591	0.0001	-0.0003	0.0035
7 Janeiro 2011	321484.9074	3612820.4844	8.6556	-0.0008	0.0007	0.0000
22 Março 2011	321484.9078	3612820.4837	8.6560	-0.0004	0.0000	0.0004
19 Agosto 2011	321484.9097	3612820.4823	8.6519	0.0015	-0.0014	-0.0037
27 Janeiro 2012	321484.9078	3612820.4779	8.6559	-0.0004	-0.0058	0.0003
17 Julho 2012	321484.9112	3612820.4793	8.6582	0.0030	-0.0044	0.0026

Locais

339.2327	20.7028	8.6632			
339.2320	20.7047	8.6506			
339.2329	20.7004	8.6529			
<b>339.2325</b>	<b>20.7026</b>	<b>8.6556</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
339.2324	20.7018	8.6540	-0.0001	-0.0008	-0.0016
339.2326	20.7026	8.6514	0.0001	0.0000	-0.0042
339.2329	20.7033	8.6525	0.0004	0.0007	-0.0031
339.2322	20.7025	8.6584	-0.0003	-0.0001	0.0028
339.2326	20.7024	8.6591	0.0001	-0.0002	0.0035
339.2317	20.7033	8.6556	-0.0008	0.0007	0.0000
339.2321	20.7027	8.6560	-0.0004	0.0001	0.0004
339.2340	20.7013	8.6519	0.0015	-0.0013	-0.0037
339.2322	20.6969	8.6559	-0.0003	-0.0057	0.0003
339.2356	20.6983	8.6582	0.0031	-0.0043	0.0026

Tabela G.7 - Coordenadas MC07

UTM

10 Maio 2010	321483.2742	3612820.5030	8.5740			
12 Maio 2010	321483.2739	3612820.5046	8.5708			
13 Maio 2010	321483.2756	3612820.5022	8.5676			
<b>Referência</b>	<b>321483.2746</b>	<b>3612820.5033</b>	<b>8.5708</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321483.2731	3612820.5034	8.5717	-0.0015	0.0001	0.0009
23 Junho 2010	321483.2741	3612820.5047	8.5699	-0.0005	0.0014	-0.0009
21Julho 2010	321483.2744	3612820.5033	8.5754	-0.0002	0.0000	0.0046
16 Outubro 2010	321483.2734	3612820.5047	8.5764	-0.0012	0.0014	0.0056
26 Novembro 2010	321483.2742	3612820.5043	8.5754	-0.0004	0.0010	0.0046
7 Janeiro 2011	321483.2720	3612820.5036	8.5779	-0.0026	0.0003	0.0071
22 Março 2011	321483.2735	3612820.5023	8.5776	-0.0011	-0.0010	0.0068
19 Agosto 2011	321483.2754	3612820.5030	8.5761	0.0008	-0.0003	0.0053
27 Janeiro 2012	321483.2755	3612820.4984	8.5704	0.0009	-0.0049	-0.0004
17 Julho 2012	321483.2775	3612820.5008	8.5760	0.0029	-0.0025	0.0052

Locais

337.5985	20.6918	8.5740			
337.5981	20.6934	8.5708			
337.5999	20.6911	8.5676			
<b>337.5988</b>	<b>20.6921</b>	<b>8.5708</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
337.5974	20.6922	8.5717	-0.0014	0.0001	0.0009
337.5983	20.6935	8.5699	-0.0005	0.0014	-0.0009
337.5987	20.6921	8.5754	-0.0001	0.0000	0.0046
337.5976	20.6935	8.5764	-0.0012	0.0014	0.0056
337.5985	20.6931	8.5754	-0.0003	0.0010	0.0046
337.5963	20.6924	8.5779	-0.0025	0.0003	0.0071
337.5978	20.6911	8.5776	-0.0010	-0.0010	0.0068
337.5997	20.6919	8.5761	0.0009	-0.0002	0.0053
337.5999	20.6873	8.5704	0.0011	-0.0048	-0.0004
337.6018	20.6897	8.5760	0.0030	-0.0024	0.0052

Tabela G.8 - Coordenadas MC08



UTM

10 Maio 2010	321472.4063	3612820.6652	8.5242			
12 Maio 2010	321472.4057	3612820.6653	8.5223			
13 Maio 2010	321472.4060	3612820.6629	8.5246			
<b>Referência</b>	<b>321472.4060</b>	<b>3612820.6645</b>	<b>8.5237</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321472.4058	3612820.6639	8.5240	-0.0002	-0.0006	0.0003
23 Junho 2010	321472.4051	3612820.6642	8.5237	-0.0009	-0.0003	0.0000
21 Julho 2010	321472.4046	3612820.6625	8.5227	-0.0014	-0.0020	-0.0010
16 Outubro 2010	321472.4031	3612820.6625	8.5275	-0.0029	-0.0020	0.0038
26 Novembro 2010	321472.4039	3612820.6648	8.5304	-0.0021	0.0003	0.0067
7 Janeiro 2011	321472.4061	3612820.6654	8.5310	0.0001	0.0009	0.0073
22 Março 2011	321472.4058	3612820.6636	8.5233	-0.0002	-0.0009	-0.0004
19 Agosto 2011	321472.4034	3612820.6642	8.5235	-0.0026	-0.0003	-0.0002
27 Janeiro 2012	321472.4057	3612820.6602	8.5242	-0.0003	-0.0043	0.0005
17 Julho 2012	321472.4063	3612820.6616	8.5249	0.0003	-0.0029	0.0012

Locais

326.7296	20.6537	8.5242			
326.7290	20.6538	8.5223			
326.7294	20.6514	8.5246			
<b>326.7293</b>	<b>20.6529</b>	<b>8.5237</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
326.7292	20.6524	8.5240	-0.0001	-0.0005	0.0003
326.7284	20.6527	8.5237	-0.0009	-0.0002	0.0000
326.7280	20.6509	8.5227	-0.0013	-0.0020	-0.0010
326.7265	20.6509	8.5275	-0.0028	-0.0020	0.0038
326.7272	20.6532	8.5304	-0.0021	0.0003	0.0067
326.7294	20.6539	8.5310	0.0001	0.0010	0.0073
326.7292	20.6521	8.5233	-0.0001	-0.0008	-0.0004
326.7267	20.6526	8.5235	-0.0026	-0.0003	-0.0002
326.7291	20.6487	8.5242	-0.0002	-0.0042	0.0005
326.7297	20.6501	8.5249	0.0004	-0.0028	0.0012

Tabela G.9 - Coordenadas MC09

UTM

10 Maio 2010	321394.6045	3612822.1868	8.7266			
12 Maio 2010	321394.6037	3612822.1886	8.7213			
13 Maio 2010	321394.6045	3612822.1864	8.7244			
<b>Referência</b>	<b>321394.6042</b>	<b>3612822.1873</b>	<b>8.7241</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321394.6036	3612822.1873	8.7229	-0.0006	0.0000	-0.0012
23 Junho 2010	321394.6046	3612822.1891	8.7222	0.0004	0.0018	-0.0019
21Julho 2010	321394.6043	3612822.1863	8.7245	0.0001	-0.0010	0.0004
16 Outubro 2010	321394.6024	3612822.1875	8.7247	-0.0018	0.0002	0.0006
26 Novembro 2010	321394.6035	3612822.1884	8.7260	-0.0007	0.0011	0.0019
7 Janeiro 2011	321394.6050	3612822.1894	8.7237	0.0008	0.0021	-0.0004
22 Março 2011	321394.6049	3612822.1863	8.7241	0.0007	-0.0010	0.0000
19 Agosto 2011	321394.6027	3612822.1878	8.7223	-0.0015	0.0005	-0.0018
27 Janeiro 2012	321394.6060	3612822.1872	8.7197	0.0018	-0.0001	-0.0044
17 Julho 2012	321394.6050	3612822.1852	8.7198	0.0008	-0.0021	-0.0043

Locais

248.9126	20.7410	8.7266			
248.9117	20.7428	8.7213			
248.9126	20.7406	8.7244			
<b>248.9123</b>	<b>20.7414</b>	<b>8.7241</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
248.9116	20.7415	8.7229	-0.0007	0.0001	-0.0012
248.9126	20.7433	8.7222	0.0003	0.0019	-0.0019
248.9124	20.7405	8.7245	0.0001	-0.0009	0.0004
248.9104	20.7416	8.7247	-0.0019	0.0002	0.0006
248.9115	20.7426	8.7260	-0.0008	0.0012	0.0019
248.9130	20.7436	8.7237	0.0007	0.0022	-0.0004
248.9130	20.7405	8.7241	0.0007	-0.0009	0.0000
248.9107	20.7419	8.7223	-0.0016	0.0005	-0.0018
248.9141	20.7414	8.7197	0.0018	0.0000	-0.0044
248.9131	20.7394	8.7198	0.0008	-0.0020	-0.0043

Tabela G.10 - Coordenadas MC10

UTM

10 Maio 2010	321307.2950	3612823.8505	8.7873			
12 Maio 2010	321307.2947	3612823.8527	8.7878			
13 Maio 2010	321307.2938	3612823.8501	8.7895			
<b>Referência</b>	<b>321307.2945</b>	<b>3612823.8511</b>	<b>8.7882</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321307.2956	3612823.8536	8.7823	0.0011	0.0025	-0.0059
23 Junho 2010	321307.2975	3612823.8513	8.7850	0.0030	0.0002	-0.0032
21Julho 2010	321307.2952	3612823.8511	8.7872	0.0007	0.0000	-0.0010
16 Outubro 2010	321307.2971	3612823.8517	8.7905	0.0026	0.0006	0.0023
26 Novembro 2010	321307.2986	3612823.8559	8.7934	0.0041	0.0048	0.0052
7 Janeiro 2011	321307.2980	3612823.8533	8.7928	0.0035	0.0022	0.0046
22 Março 2011	321307.2960	3612823.8489	8.7895	0.0015	-0.0022	0.0013
19 Agosto 2011	321307.2956	3612823.8457	8.7835	0.0011	-0.0054	-0.0047
27 Janeiro 2012	321307.2963	3612823.8508	8.7850	0.0018	-0.0003	-0.0032
17 Julho 2012	321307.2984	3612823.8471	8.7935	0.0039	-0.0040	0.0053

Locais

161.5870	20.7951	8.7873			
161.5866	20.7973	8.7878			
161.5858	20.7947	8.7895			
<b>161.5864</b>	<b>20.7957</b>	<b>8.7882</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
161.5875	20.7982	8.7823	0.0011	0.0025	-0.0059
161.5894	20.7959	8.7850	0.0030	0.0002	-0.0032
161.5871	20.7957	8.7872	0.0007	0.0000	-0.0010
161.5890	20.7963	8.7905	0.0026	0.0006	0.0023
161.5904	20.8006	8.7934	0.0040	0.0049	0.0052
161.5899	20.7979	8.7928	0.0035	0.0022	0.0046
161.5880	20.7935	8.7895	0.0016	-0.0022	0.0013
161.5877	20.7903	8.7835	0.0013	-0.0054	-0.0047
161.5882	20.7954	8.7850	0.0018	-0.0003	-0.0032
161.5904	20.7917	8.7935	0.0040	-0.0040	0.0053

Tabela G.11 - Coordenadas MC11

UTM

10 Maio 2010	321161.8610	3612826.3464	8.7709			
12 Maio 2010	321161.8614	3612826.3472	8.7734			
13 Maio 2010	321161.8605	3612826.3459	8.7708			
<b>Referência</b>	<b>321161.8610</b>	<b>3612826.3465</b>	<b>8.7717</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
20 Maio 2010	321161.8618	3612826.3491	8.7719	0.0008	0.0026	0.0002
23 Junho 2010	321161.8624	3612826.3467	8.7708	0.0014	0.0002	-0.0009
21 Julho 2010	321161.8624	3612826.3482	8.7730	0.0014	0.0017	0.0013
16 Outubro 2010	321161.8652	3612826.3500	8.7707	0.0042	0.0035	-0.0010
26 Novembro 2010	321161.8659	3612826.3521	8.7765	0.0049	0.0056	0.0048
7 Janeiro 2011	321161.8621	3612826.3444	8.7738	0.0011	-0.0021	0.0021
22 Março 2011	321161.8625	3612826.3434	8.7756	0.0015	-0.0031	0.0039
19 Agosto 2011	321161.8622	3612826.3410	8.7667	0.0012	-0.0055	-0.0050
27 Janeiro 2012	321161.8614	3612826.3475	8.7695	0.0004	0.0010	-0.0022
17 Julho 2012	321161.8636	3612826.3458	8.7752	0.0026	-0.0007	0.0035

Locais

16.1325	20.6098	8.7709			
16.1329	20.6106	8.7734			
16.1320	20.6093	8.7708			
<b>16.1325</b>	<b>20.6099</b>	<b>8.7717</b>	<b>Delta X</b>	<b>Delta Y</b>	<b>Delta Z</b>
16.1333	20.6126	8.7719	0.0008	0.0027	0.0002
16.1339	20.6102	8.7708	0.0014	0.0003	-0.0009
16.1339	20.6117	8.7730	0.0014	0.0018	0.0013
16.1366	20.6135	8.7707	0.0041	0.0036	-0.0010
16.1373	20.6156	8.7765	0.0048	0.0057	0.0048
16.1337	20.6079	8.7738	0.0012	-0.0020	0.0021
16.1341	20.6069	8.7756	0.0016	-0.0030	0.0039
16.1339	20.6045	8.7667	0.0014	-0.0054	-0.0050
16.1329	20.6109	8.7695	0.0004	0.0010	-0.0022
16.1351	20.6093	8.7752	0.0026	-0.0006	0.0035

Tabela G.12 - Coordenadas MC12

## Anexo H



```

%Mário Pedro Moreira Pereira
%Rotina para Análise do Sinal na Atracagem
%Doutoramento em Engenharia Geográfica
%Departamento de Geociências e Ordenamento do Território
%Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Programa para ler o ficheiro TXT que contém a informação das variações%
% das coordenadas em cada uma das componentes X, Y e Z das atracções %
% e desatracações calculando as amplitudes máximas entre épocas %
% consecutivas %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

s=simple=input('MC09_Variacoes.txt');

clear
clc

k=menu('Importação de Ficheiro Análise Atracagem','SIM','Abortar');

if k==1

    [FileName,PathName] = uigetfile('*.txt','Selecione o ficheiro
txt','C:\Mário\Doutoramento\Matlab - Atracação\');

    Matriz=load(FileName);

    L=length(Matriz);
    N=numel(Matriz);
    [M,N]=size(Matriz);
    M;
    N;
    count=0;
    j=1;
    k=1;

    for i=1:M
        xbruto(i)=Matriz(i,1);
        ybruto(i)=Matriz(i,2);
        zbruto(i)=Matriz(i,3);
        %ambi(i)=Matriz(i,5);
        %if ambi(i)==0
        %    count=count+1;
        %    i;
        %xlinha(j)=Matriz(i,1);
        %ylinha(j)=Matriz(i,2);
        %zlinha(j)=Matriz(i,3);
        %r(j)=Matriz(i,4);
        %if r(j)<10
        %    x(k)=xlinha(j);
        %    y(k)=ylinha(j);
        %    z(k)=zlinha(j);
        %    k=k+1;
        %end
    end
end

```

```

        %j=j+1;

    %end
end

%plot(x,xlinha)
%axis([-138.96 -138.05 0 1000])

%i=1;

%XF=0;
%YF=0;
%RMS=0;

%while i<=M
    %x(i)=Matriz(i,1);
    %y(i)=Matriz(i,2);
    %z(i)=Matriz(i,3);
    %i=i+1;
%end

%stdx=std(x);
%meanx=mean(x);
%meany=mean(y);

%for i=1:M
    %difx(i)=x(i)-meanx;
    %dify(i)=y(i)-meany;
    %if difx(i)>stdx;
        %ix(i)=i;
    %end
%end

%xmax=max(x)
%ymax=max(y)
%xmin
%parametros necessários, ou não? para estabelecer os
%valores limites dos eixos coordenadas

%msgbox('Programa Executado')

%q=menu('Análise Resultados','Intervalo Reduzido','Mostrar DesvPad
X','Mostrar Média X','Mostrar Média Y','Mostrar Média Z',...
%'Ficehiro txt','Sair');

%if q==1

```



```

        %     MAXIMO=M
        %     intervalo1=input('Qual o valor para o parâmetro inferior do
intervalo? ');
        %     intervalo2=input('Qual o valor para o parâmetro superior do
intervalo? ');
        %     s=x(intervalo1:intervalo2);
        %     close;
        %     plot(s)
        %     w=menu('Atracagem','SAIR','Imprimir Figura')
        %     if w==1
                %close
        %     else
                %Print
        %     end
        %end

    %else
        %     msgbox('Abortado pelo Utilizador','Atracagem')
    %end

x=xbruto-mean(xbruto);
y=ybruto-mean(ybruto);
z=zbruto-mean(zbruto);
%x=abs(x);
[q,contador]=size(x);
for i=1:contador-1
    diferenca_x(i)=x(i+1)-x(i);
    diferenca_y(i)=y(i+1)-y(i);
    diferenca_z(i)=z(i+1)-z(i);
end
%max(diferenca_x)
%min(diferenca_x)
max_x=max(abs(diferenca_x))
max_y=max(abs(diferenca_y))
max_z=max(abs(diferenca_z))
%max(x);
%min(x);
%max(diferenca_y);
%max(y);
%min(y);
%max(diferenca_z);
%max(z);
%min(z);
%min(diferenca_x);

subplot(3,1,1),plot(x)
%axis[()]
xlabel('Épocas');ylabel('Delta X (m)');title('Componente X')
set(gca,'XTick',[0;250;3000;7000])
%axis([0 7500 min(x)-0.001 max(x)+0.001])
subplot(3,1,2),plot(y)
xlabel('Épocas');ylabel('Delta Y (m)');title('Componente Y')
%axis([0 7500 min(y)-0.001 max(y)+0.001])
subplot(3,1,3),plot(z)
xlabel('Épocas');ylabel('Delta Z (m)');title('Componente Z')
%axis([0 7500 min(z)-0.01 max(z)+0.01])

```



## Anexo I



```

%Mário Pedro Moreira Pereira
%Doutoramento em Engenharia Geográfica
%Departamento de Geociências e Ordenamento do Território
%Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Programa para ler o ficheiro TXT que contem a informação dos      %
% acelerómetros e os seus plot's                                     %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%simples=input('MC09_Variacoes.txt');

clear
clc

[FileName,PathName] = uigetfile('*.txt','Selecione o ficheiro
txt','C:\Mário\Doutoramento\Matlab - Atracação\');
Matriz=load(FileName);
x=matriz(:,2);
y=matriz(:,3);
z=matriz(:,4);

subplot(3,1,1),plot(x)
xlabel('Épocas (hh:min)');ylabel('Acelerações (m/s2)');title('Vertical')
subplot(3,1,2),plot(y)
xlabel('Épocas (hh:min)');ylabel('Acelerações (m/s2)');title('Vertical')
subplot(3,1,3),plot(z)
xlabel('Épocas (hh:min)');ylabel('Acelerações
(m/s2)');title('Horizontal')

```



## Anexo J





```
%Mário Pedro Moreira Pereira
%Doutoramento em Engenharia Geográfica
%Departamento de Geociências e Ordenamento do Território
%Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Programa aplicar a função fft a um conjunto de dados de observação dos%
% acelerómetros %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
f=[0:1/180:20];
fftZ_0=fft(z(1: 238001))*(1/250);
fftZ_100=fft(xbruto(238001:(2*238001)))*(1/250);
fftZ_200=fft(xbruto((2*238001):(3*238001)))*(1/250);
fftZ_300=fft(xbruto((3*238001):(4*238001)))*(1/250);
fftZ_400=fft(xbruto((4*238001):(5*238001)))*(1/250);
fftZ_500=fft(xbruto((5*238001):(6*238001)))*(1/250);
```

```
%figure(1);plot(f(10: 238001),abs(fftZ_0(10: 238001)));xlabel('Frequência
(Hz)');ylabel('Magnitude')
%figure(2);plot(f(10:23801), (abs(fftZ_100(10:23801))).^2);xlabel('Frequên
cia (Hz)');ylabel('Magnitude')
%figure(3);plot(f(10:23801), (abs(fftZ_200(10:23801))));xlabel('Frequência
%figure(4);plot(f(10:23801),abs(fftZ_300(10:23801)));xlabel('Frequência
(Hz)');ylabel('Magnitude')
%figure(5);plot(f(10:23801),abs(fftZ_400(10:23801)));xlabel('Frequência
(Hz)');ylabel('Magnitude')
%figure(6);plot(f(10:23801),abs(fftZ_500(10:23801)));xlabel('Frequência
(Hz)');ylabel('Magnitude')
%figure(7);plot(f_250(10:100000),abs(fftZ_500(10:100000)))
```

```
figure(100);
subplot(3,2,1),plot(f(10:23801),abs(fftZ_0(10:23801)))
xlabel('Frequência (HZ)');ylabel('Magnitude');title('Intervalo 1')
subplot(3,2,2),plot(f(10:23801),abs(fftZ_100(10:23801)))
xlabel('Frequência (HZ)');ylabel('Magnitude');title('Intervalo 2')
subplot(3,2,3),plot(f(10:23801),abs(fftZ_200(10:23801)))
xlabel('Frequência (HZ)');ylabel('Magnitude');title('Intervalo 3')
subplot(3,2,4),plot(f(10:23801),abs(fftZ_300(10:23801)))
xlabel('Frequência (HZ)');ylabel('Magnitude');title('Intervalo 4')
subplot(3,2,5),plot(f(10:23801),abs(fftZ_400(10:23801)))
xlabel('Frequência (HZ)');ylabel('Magnitude');title('Intervalo 5')
subplot(3,2,6),plot(f(10:23801),abs(fftZ_500(10:23801)))
xlabel('Frequência (HZ)');ylabel('Magnitude');title('Intervalo 6')
```

```
%figure(20);plot(f(10:10000), (abs(fftZ_100(10:10000))).^2)
```



## Anexo K



MC09

Dia 07/09/2012

### Atracção

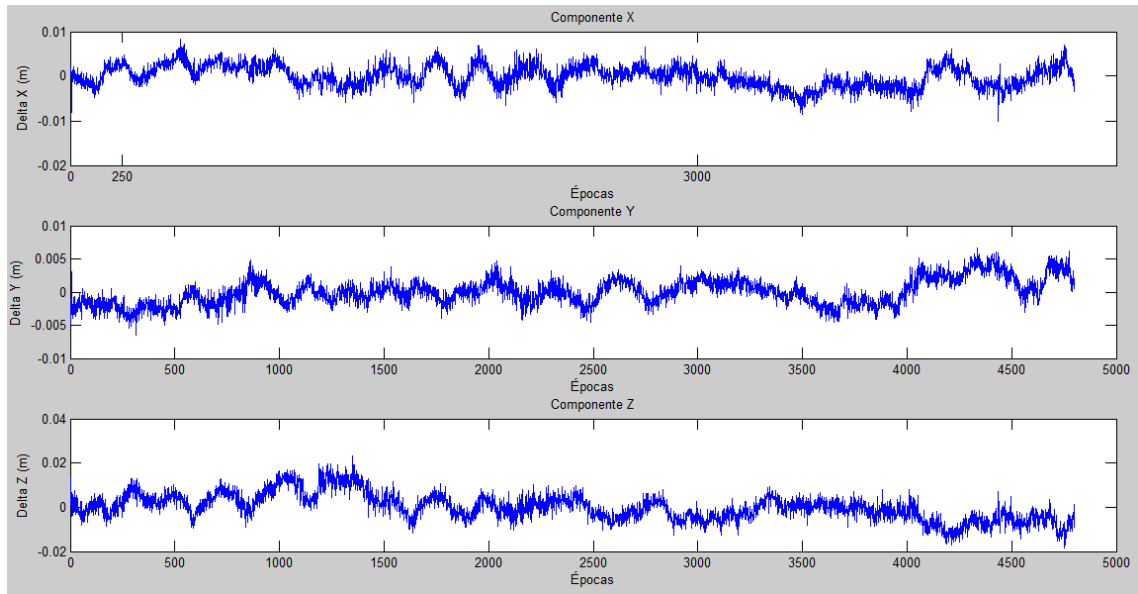


Figura K.1 – Variações Atracção

(0.0075,0.0055,0.0156)m

### Desatracção

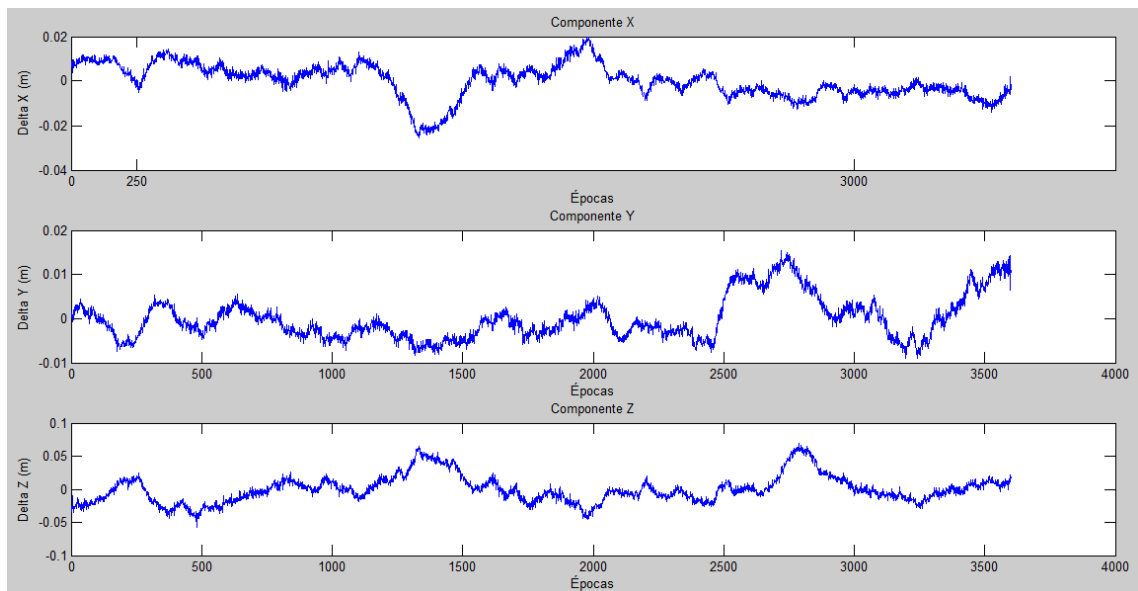


Figura K.2 – Variações Desatracção

(0.0081,0.0043,0.0242)m

Dia 08/09/2012

### Atracção

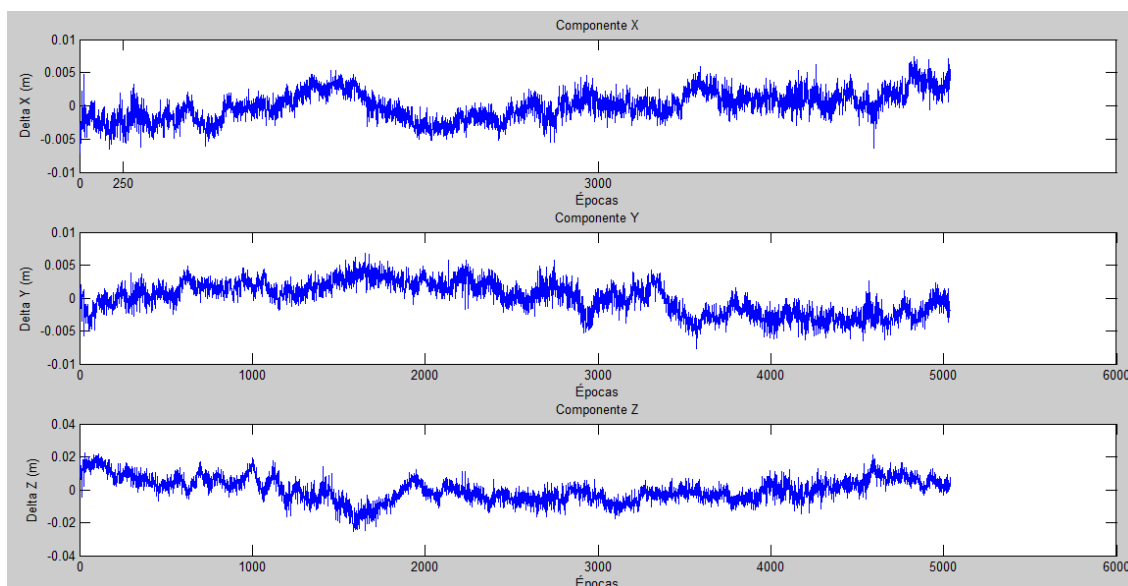


Figura K.3 – Variações Atracção

(0.0086,0.0065,0.0202)m

### Desatracção

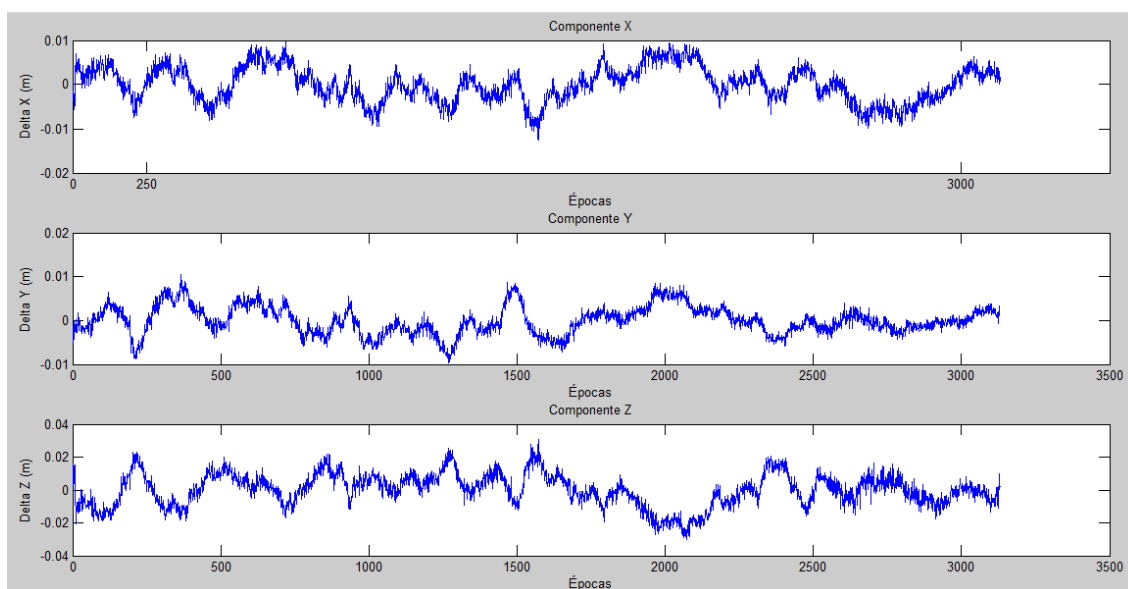


Figura K.4 – Variações Desatracção

(0.0078,0.0050,0.0221)m

*Dia 09/09/2012*

Sem Navio

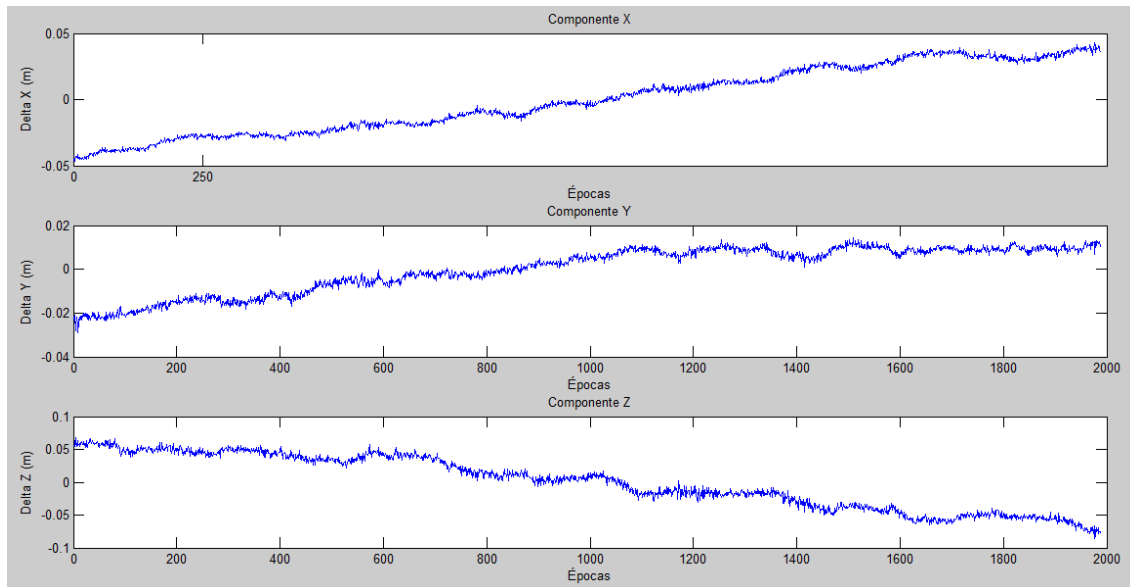


Figura K.5 – Variações

(0.0063,0.0063,0.0203)m

**MC10**

*Dia 07/09/2012*

Atracação

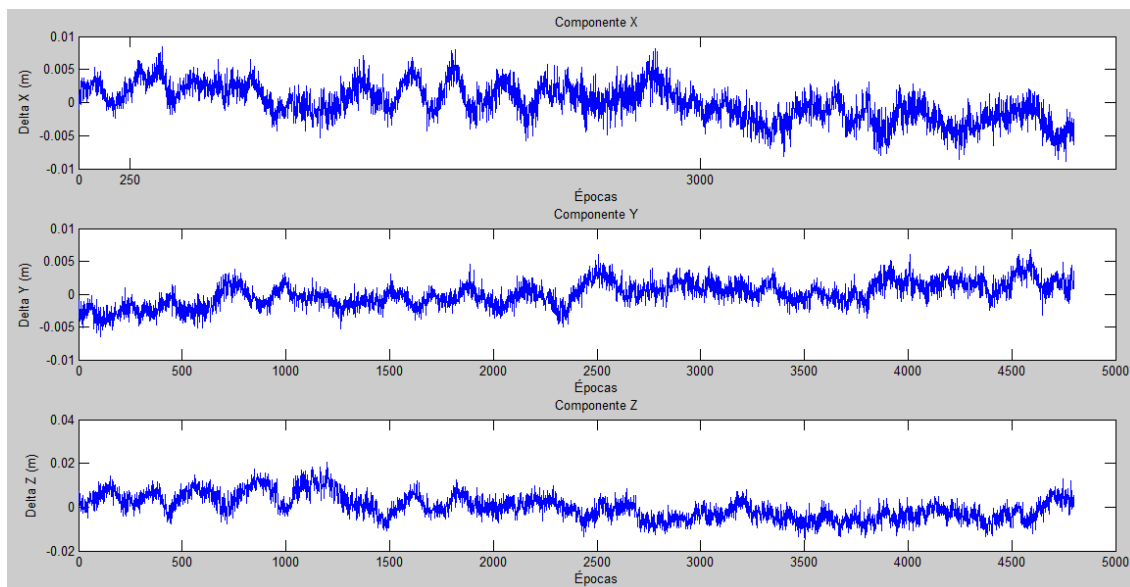


Figura K.6 – Variações Atracação

(0.0071,0.0052,0.0125)

## Desatracação

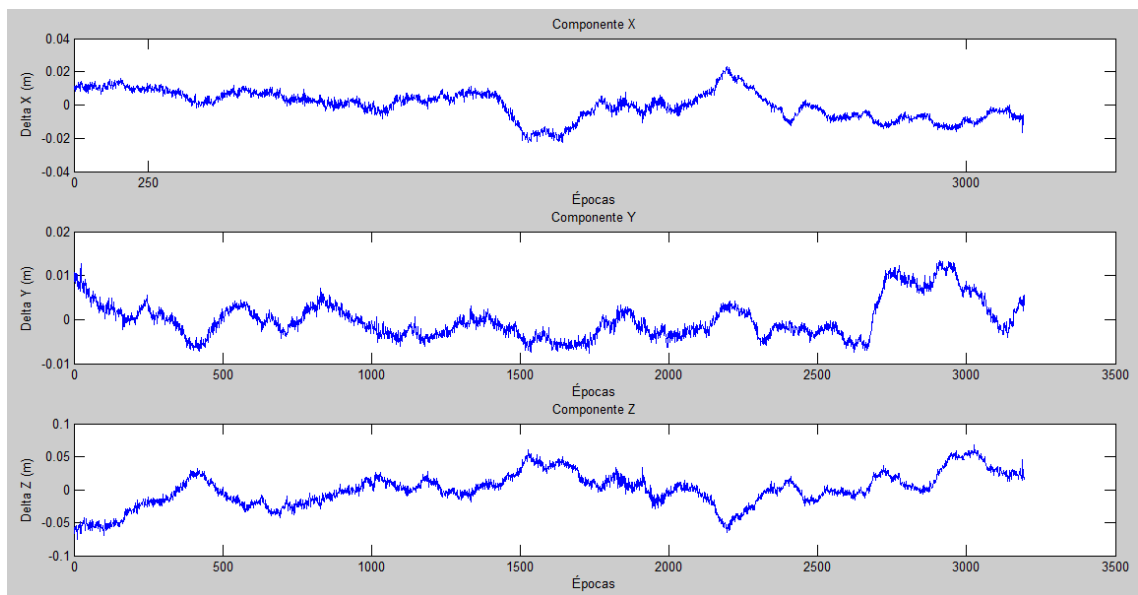


Figura K.7 – Variações Desatracação

(0.0089,0.0040,0.0265)m

*Dia 08/09/2010*

## Atracção

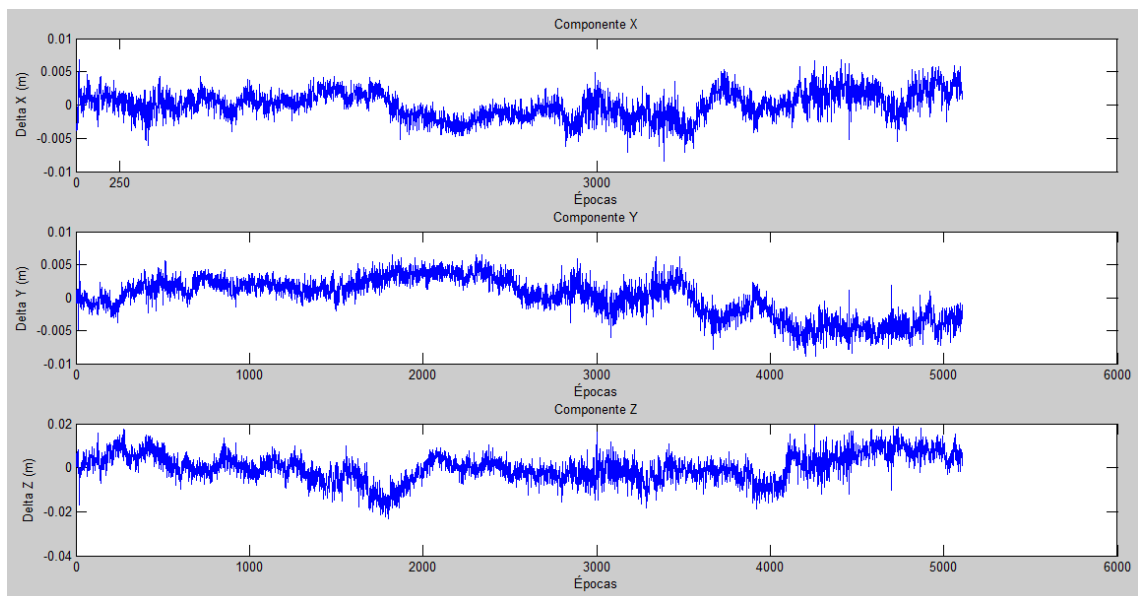


Figura K.8 – Variações Atracção

(0.0114,0.0090,0.0281)m



## Desatracação

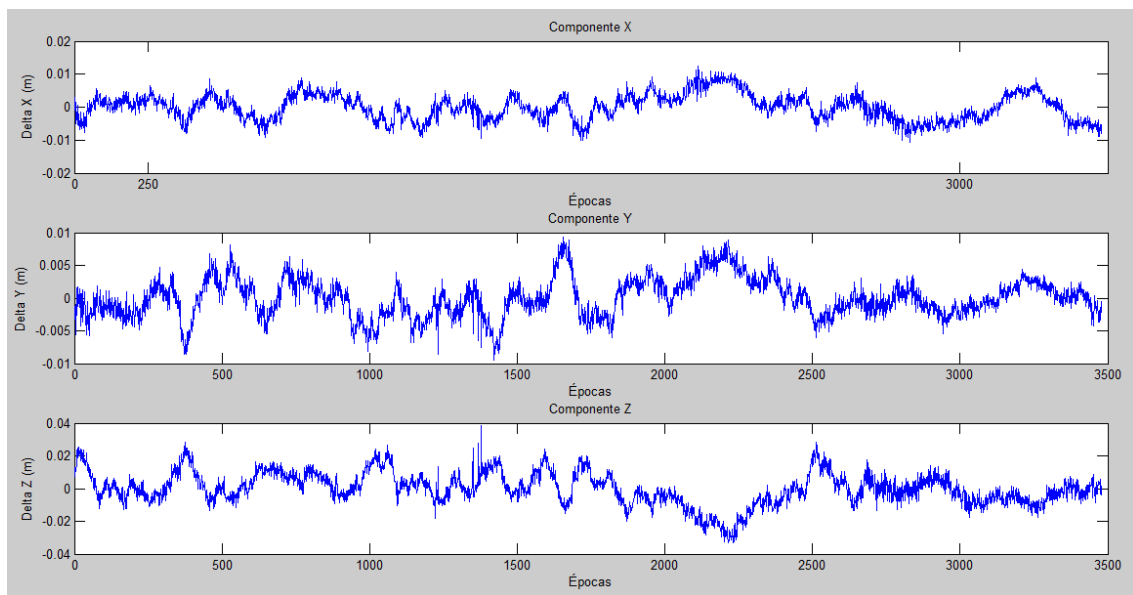


Figura K.9 – Variações Desatracação

(0.0082,0.0085,0.0301)m

*Dia 09/09/2012*

## Sem Navio

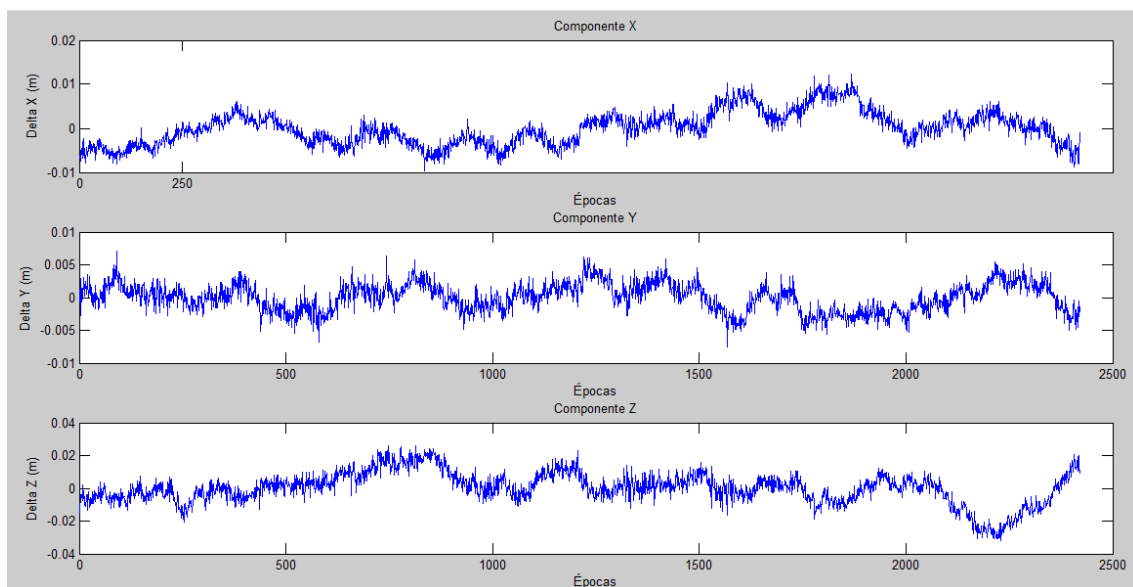


Figura K.10 – Variações

(0.0063,0.0058,0.0208)m



## Anexo L



## **Campanha Setembro Acelerómetros**

### **7 Setembro – Navio Riviera**

**Atracação** – Ficheiro eG@120907080631.DAD

Canal 1 – Horizontal (1301)

Canal 2 – Horizontal (1129)

Canal 3 – Vertical (1121)

#### **Frequências Dominantes**

Canal 1 → 0.0018 ; 8.616 ; 12.92 ; 50.11

Ficheiro: 07092012-ATRA-Canal1.jpg

Canal 2 → 0.0036 ; 50.11

Ficheiro: 07092012-ATRA-Canal2.jpg

Canal 3 → 0.0018 ; 8.616

Ficheiro: 07092012-ATRA-Canal3.jpg

#### **Outras Frequências**

Canal 1 → 4.298 ; 17.23 ; 20.01 ; 21.54 ; 25.84 ; 29.98 ; 34.46 ; 40.15 ; 94.75 ; 99.06 ; 103.4

Canal 2 → []

Canal 3 → 12.92 ; 30.24 ; 51.14 ; 103.4

**Desatracação** – Ficheiro eG@120907172225.DAD

Canal 1 – Horizontal (1301)

Canal 2 – Horizontal (1129)

Canal 3 – Vertical (1121)

#### **Frequências Dominantes**

Canal 1 → 0.0030 ; 8.606

Ficheiro: 07092012-DESA-Canal1.jpg

Canal 2 → 0.0030 ; 8.606 ; 50.15

Ficheiro: 07092012-DESA-Canal2.jpg

Canal 3 → 0.0030 ; 50.15

Ficheiro: 07092012-DESA-Canal3.jpg

### **Outras Frequências**

Canal 1 → 12.91 ; 17.21 ; 20.06 ; 21.52 ; 30.12 ; 34.36 ; 94.71 ; 103.3 ; 111.9 ; 120.5

Canal 2 → 12.91 ; 70.52 ; 94.71 ; 103.3 ; 111.9 ; 120.5

Canal 3 → 8.372 ; 12.91 ; 33.45 ; 91.98

## **8 Setembro – Costa Deliziosa (Navio Athena atracado atrás)**

**Atracação** – Ficheiro eG@120908063845.DAD

Canal 1 – Horizontal (1301)

Canal 2 – Horizontal (1129)

Canal 3 – Vertical (1121)

### **Frequências Dominantes**

Canal 1 → 0.0016 ; 8.599

Ficheiro: 08092012-ATRA-Canal1.jpg

Canal 2 → 0.0018 ; 8.599 ; 50.11

Ficheiro: 08092012-ATRA-Canal2.jpg

Canal 3 → 0.0016 ; 50.11

Ficheiro: 08092012-ATRA-Canal3.jpg

### **Outras Frequências**

Canal 1 → 4.298 ; 12.91 ; 17.21 ; 29.96 ; 95.55

Canal 2 → 4.298 ; 12.91 ; 17.21 ; 95.55

Canal 3 →

**Desatracação** – Ficheiro eG@120908161444.DAD

Canal 1 – Horizontal (1116)

Canal 2 – Horizontal (1301)

Canal 3 – Vazio

### **Frequências Dominantes**

Canal 1 → 0.0095 ; 8.315 ; 50.02

Ficheiro: 08092012-DESA1-Canal1.jpg

Canal 2 → 0.0126 ; 8.315

Ficheiro: 08092012-DESA1-Canal1.jpg

### **Outras Frequências**

Canal 1 → []

Canal 2 → 4.294

**Desatracção** – Ficheiro eG@120908164439.DAD

Canal 1 – Horizontal (1129)

Canal 2 – Horizontal (1301)

Canal 3 – Vazio

### **Frequências Dominantes**

Canal 1 → 0.0054 ; 49.98

Ficheiro: 08092012-DESA2-Canal1.jpg

Canal 2 → 0.0049 ; 8.585 ; 68.21

Ficheiro: 08092012-DESA2-Canal2.jpg

### **Outras Frequências**

Canal 1 → 8.585

Canal 2 → 17.17 ; 26.53 ; 90.98 ; 104.1 ; 109.9 ; 121.3

9 Setembro – Sem Navio de Cruzeiro

Ficheiro eG@120909112726.DAD

Canal 1 – Horizontal (1129)

Canal 2 – Horizontal (1301)

Canal 3 – Vazio

#### **Frequências Dominantes**

Canal 1 → 0.02123 ; 9.639

Ficheiro: 09092012-CAMP1-Canal1.jpg

Canal 2 → 0.0236 ; 9.63

Ficheiro: 09092012-CAMP1-Canal2.jpg

#### **Outras Frequências**

Canal 1 → []

Canal 2 → 100.2

Ficheiro eG@120909113537.DAD

Canal 1 – Horizontal (1129)

Canal 2 – Horizontal (1301)

Canal 3 – Vazio

#### **Frequências Dominantes**

Canal 1 → 0.00403

Ficheiro: 09092012-CAMP2-Canal1.jpg

Canal 2 → 0.004478

Ficheiro: 09092012-CAMP2-Canal2.jpg

#### **Outras Frequências**

Canal 1 → []

Canal 2 → 9.602 ; 100.1



## Campanha Setembro GPS

7 de Setembro

MC09

Atracção

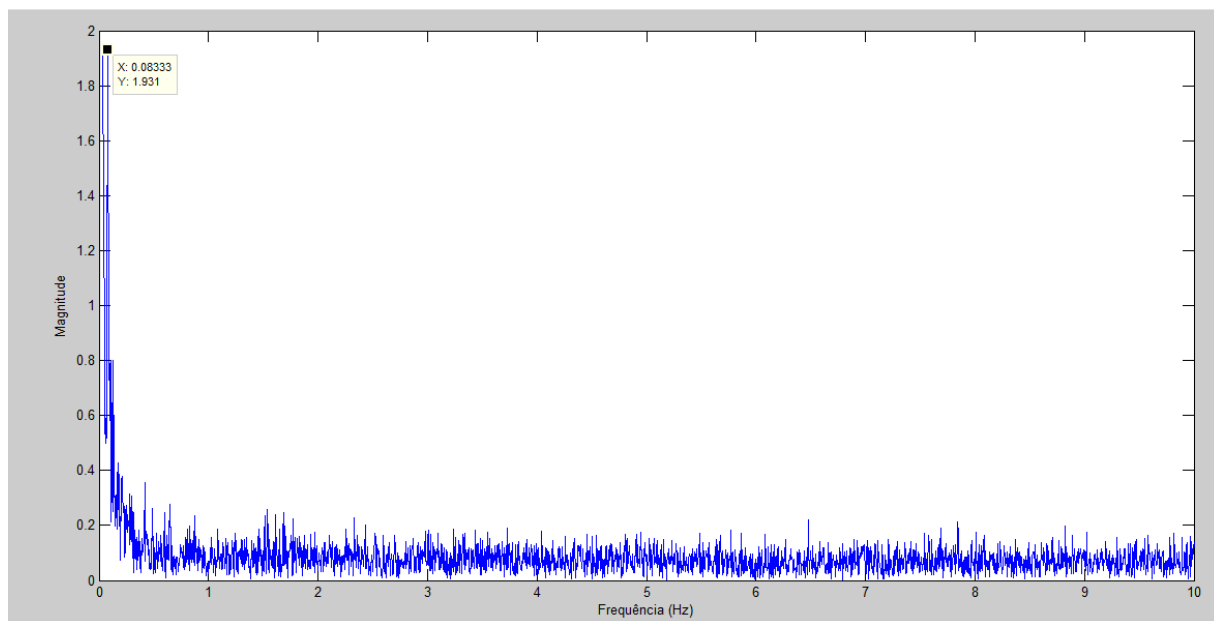


Figura L.1 – Acelerograma

Desatracção

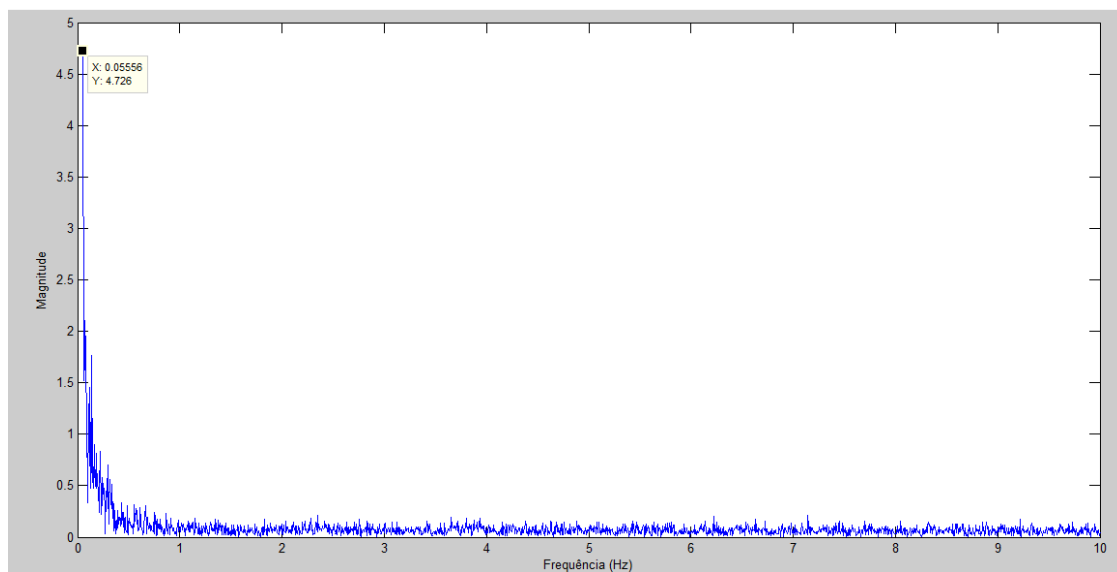


Figura L.2 – Acelerograma

**MC10**

**Atracção**

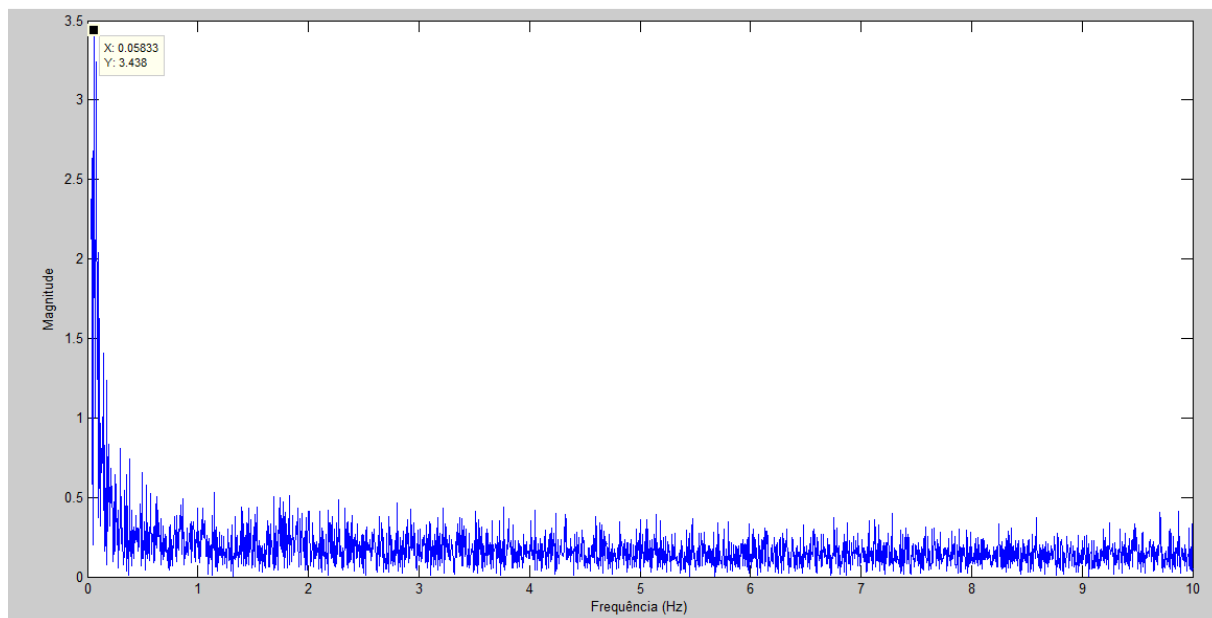


Figura L.3 – Acelerograma

**Desatracção**

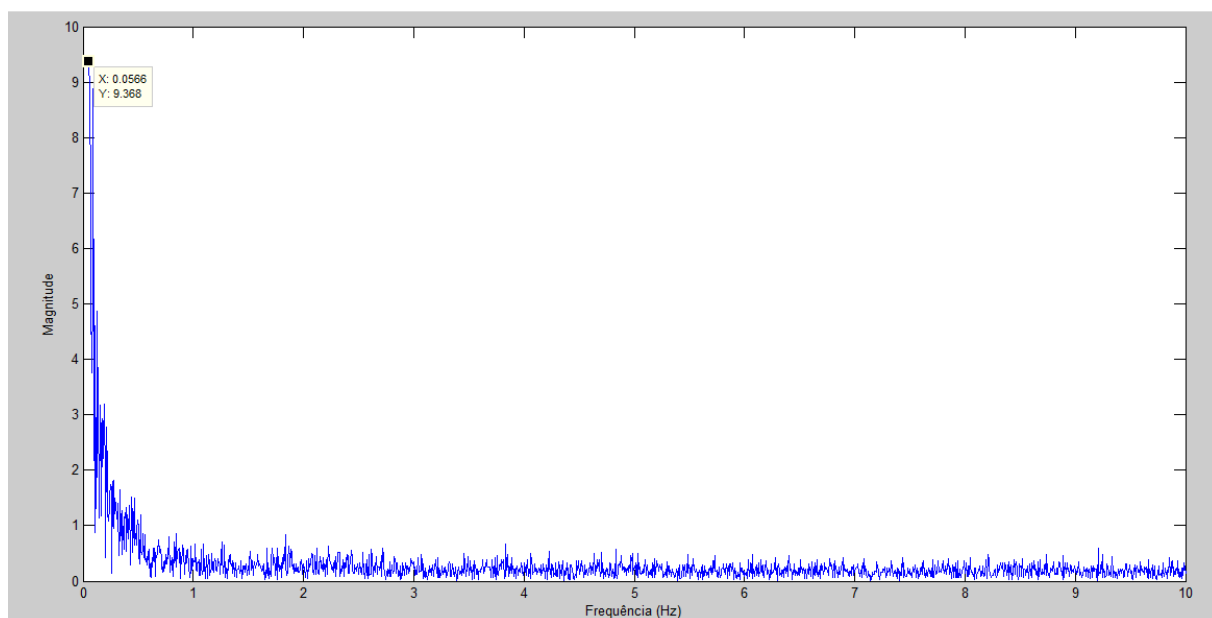


Figura L.4 – Acelerograma

**8 Setembro**

**MC09**

**Atracção**

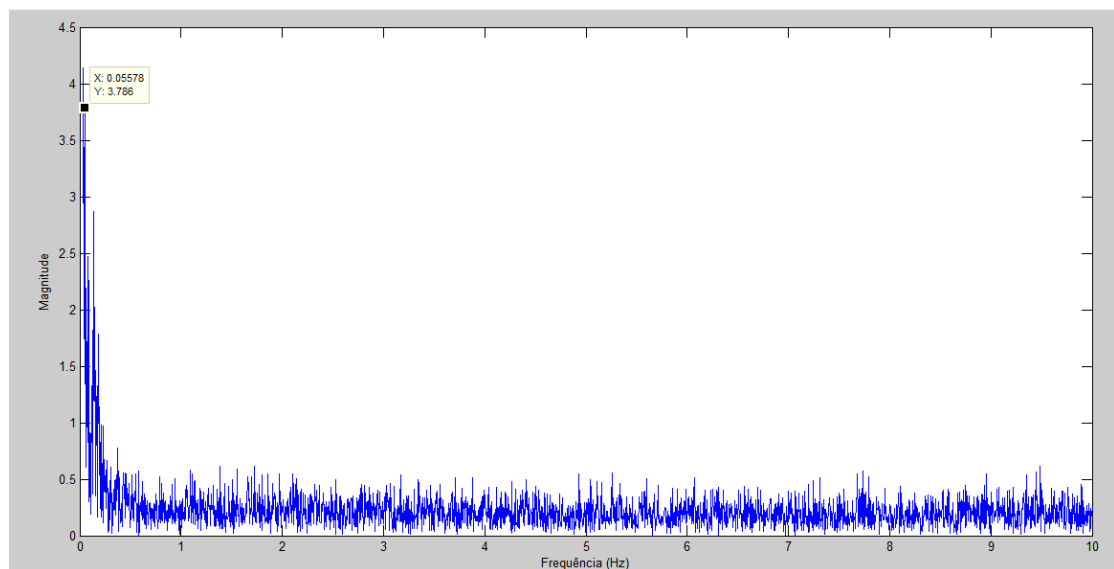


Figura L.5 – Acelerograma

**Desatracção**

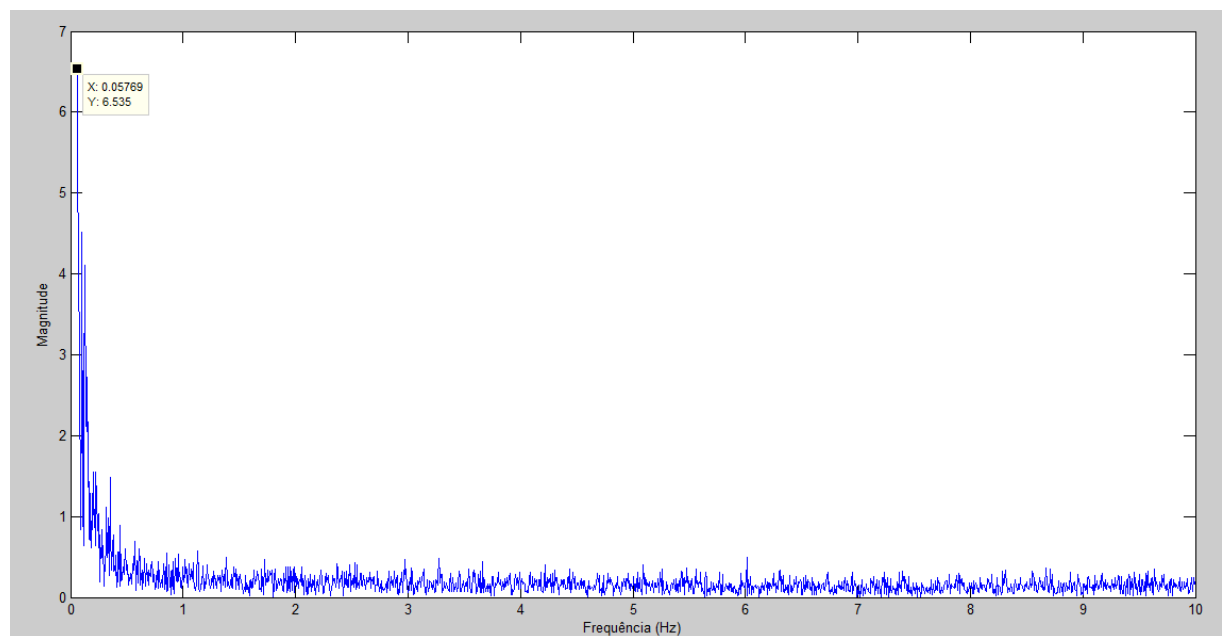


Figura L.6 – Acelerograma

**MC10**

**Atracção**

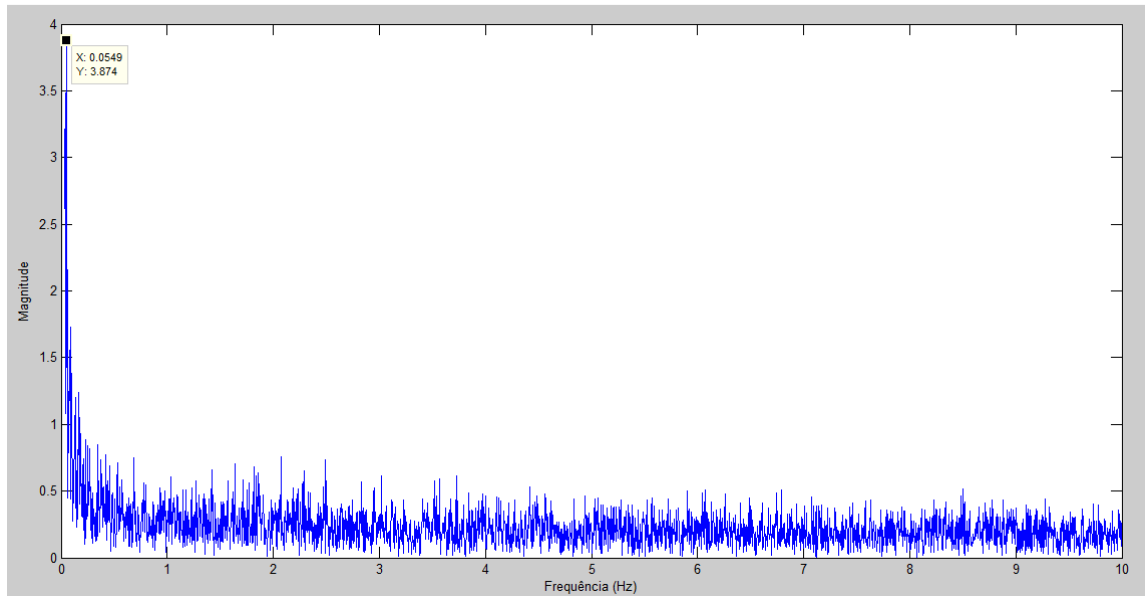


Figura L.7 – Acelerograma

**Desatracção**

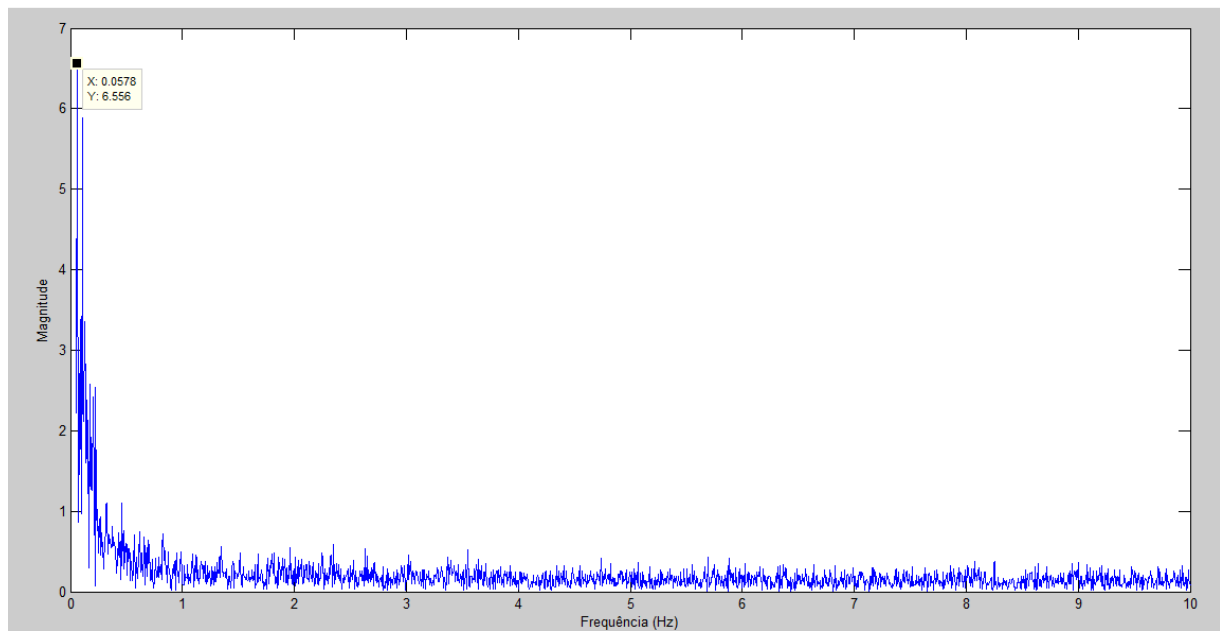
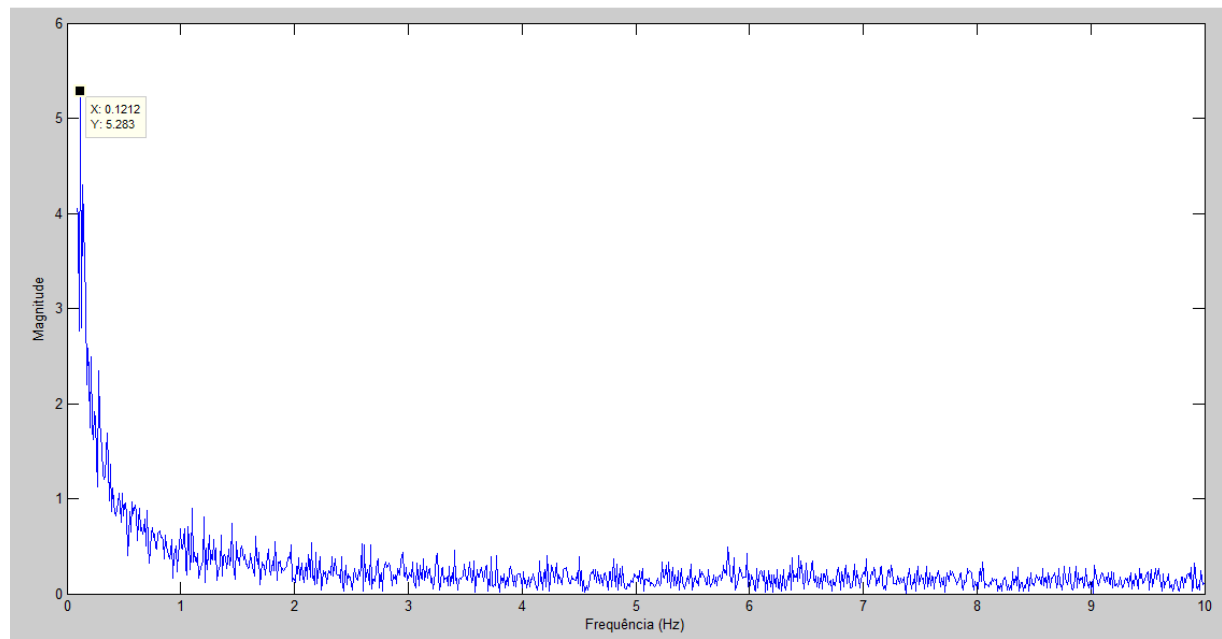


Figura L.8 – Acelerograma

**Dia 9 Setembro**

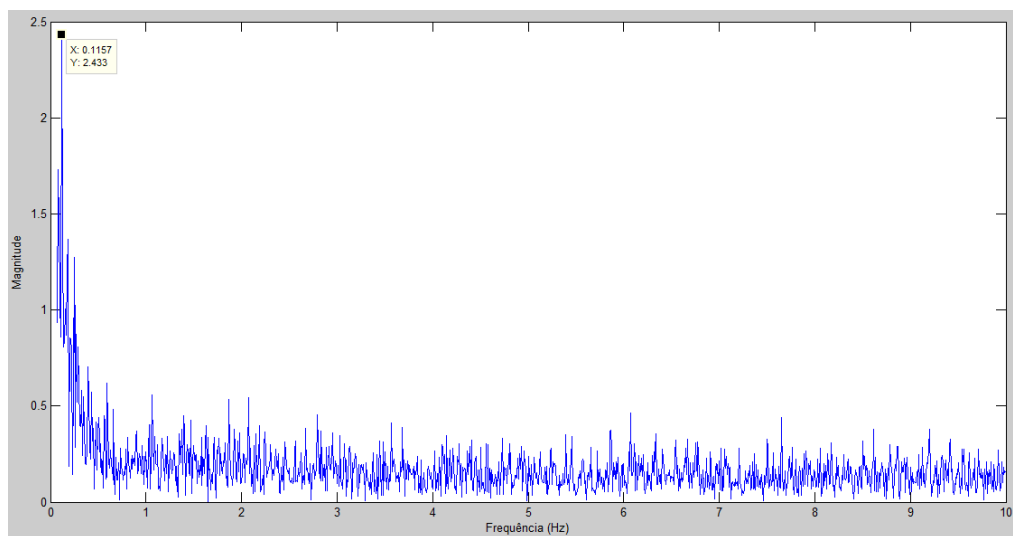
**MC09**

**Sem navio**



**Figura L.9 – Acelerograma**

**MC10**



**Figura L.10 – Acelerograma**



## Anexo M



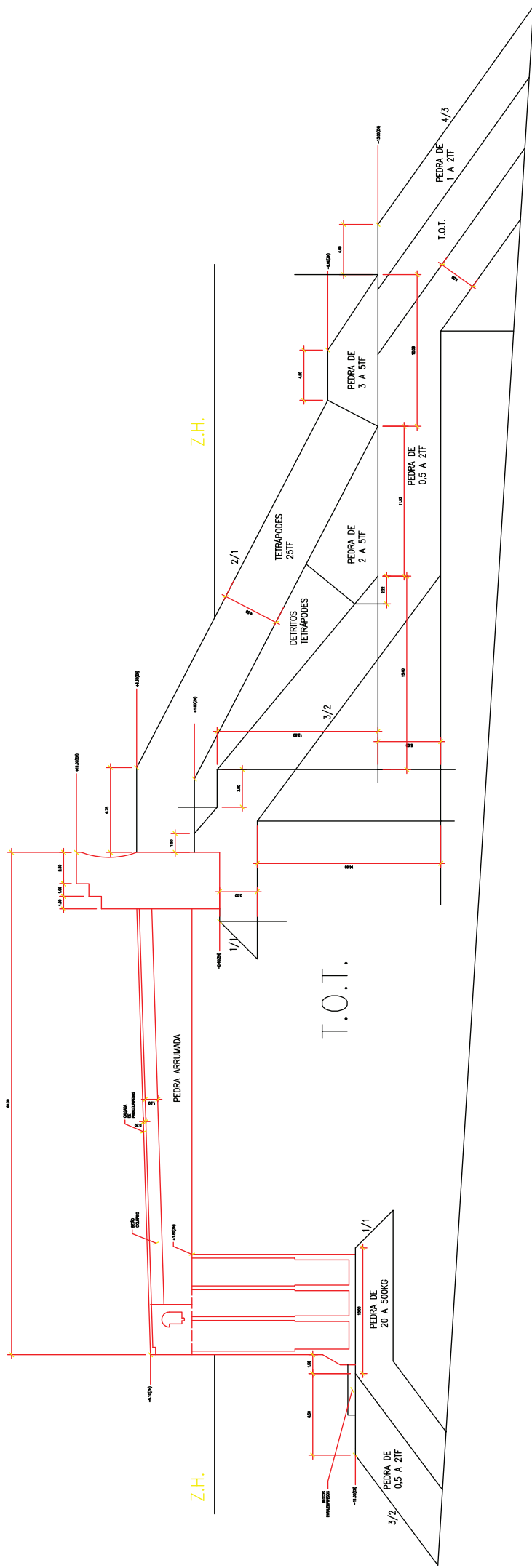


Época de Referência - 29 Maio 2010				1ª Época - 23 Junho 2010							2ª Época - 10 Dezembro 2010							3ª Época - 7 Janeiro 2011							4ª Época - 22 Março 2011						
TET	E(m)	N(m)	h(m)	E(m)	ΔE(m)	N(m)	ΔN(m)	h(m)	Δh(m)	ΔD(m)	E(m)	ΔE(m)	N(m)	ΔN(m)	h(m)	Δh(m)	ΔD(m)	E(m)	ΔE(m)	N(m)	ΔN(m)	h(m)	Δh(m)	ΔD(m)	E(m)	ΔE(m)	N(m)	ΔN(m)	h(m)	Δh(m)	ΔD(m)
10	23.171	13.396	4.207								23.166	0.005	13.394	0.001	4.201	0.006	0.007	23.163	0.008	13.395	0.001	4.201	0.006	0.010	23.170	0.001	13.394	0.001	4.194	0.013	0.013
11	24.445	11.483	3.603								24.437	0.008	11.463	0.020	3.588	0.014	0.026	24.434	0.011	11.437	0.045	3.577	0.025	0.053	24.437	0.008	11.439	0.044	3.568	0.034	0.056
12	29.077	11.634	3.996								29.073	0.004	11.632	0.002	3.988	0.009	0.001	29.078	0.001	11.630	0.005	3.983	0.013	0.014	29.074	0.003	11.638	0.004	3.978	0.018	0.019
13	29.921	10.655	3.863								30.165	0.244	10.468	0.188	3.740	0.123	0.332	30.171	0.250	10.470	0.186	3.728	0.135	0.339	30.173	0.252	10.474	0.181	3.722	0.141	0.341
14	31.827	12.960	3.915								31.822	0.005	12.949	0.011	3.908	0.007	0.014	31.824	0.003	12.942	0.018	3.908	0.007	0.020	31.826	0.001	12.943	0.017	3.901	0.014	0.023
15	36.890	13.468	4.193								36.878	0.012	13.454	0.014	4.184	0.009	0.021	36.872	0.018	13.449	0.019	4.184	0.010	0.028	36.876	0.014	13.450	0.018	4.177	0.017	0.028
16	40.575	14.376	4.323								40.575	0.000	14.370	0.005	4.314	0.008	0.010	40.574	0.001	14.366	0.010	4.311	0.011	0.015	40.577	0.002	14.370	0.005	4.305	0.018	0.019
17	44.237	15.392	4.787								44.236	0.001	15.387	0.005	4.782	0.005	0.007	44.237	0.000	15.385	0.007	4.779	0.009	0.011	44.243	0.006	15.393	0.001	4.776	0.011	0.013
18	35.463	11.672	3.748								35.469	0.007	11.662	0.010	3.743	0.005	0.013	35.472	0.010	11.658	0.014	3.741	0.006	0.018	35.479	0.017	11.663	0.009	3.736	0.012	0.022
19	35.475	8.196	2.683								35.471	0.003	8.188	0.008	2.676	0.007	0.011	35.471	0.004	8.184	0.012	2.675	0.007	0.015	35.479	0.004	8.183	0.012	2.666	0.017	0.021
20	33.422	9.737	3.419								33.350	0.073	9.780	0.043	3.421	0.001	0.084	33.352	0.071	9.774	0.037	3.419	0.000	0.080	33.357	0.065	9.779	0.041	3.412	0.007	0.077
21	32.392	8.149	2.435								32.398	0.005	8.139	0.010	2.434	0.001	0.011	32.400	0.008	8.140	0.009	2.422	0.013	0.018	32.282	0.110	8.049	0.100	2.376	0.059	0.160
22	25.606	8.306	2.294								25.574	0.032	8.307	0.001	2.277	0.017	0.036	25.574	0.032	8.338	0.032	2.286	0.008	0.046	25.582	0.023	8.333	0.027			
30	144.602	14.668	4.115								144.595	0.007	14.663	0.005	4.104	0.011	0.014	144.599	0.004	14.670	0.001	4.101	0.014	0.015							
31	147.074	15.909	4.899								147.064	0.011	15.920	0.011	4.905	0.006	0.016	147.045	0.029	15.921	0.012	4.899	0.000	0.032							
32	145.983	12.216	3.334								145.983	0.000	12.217	0.001	3.334	0.001	0.001	145.977	0.006	12.218	0.002	3.329	0.005	0.008							
33	148.627	12.151	3.183								148.637	0.010	12.141	0.010	3.172	0.011	0.018	148.626	0.001	12.145	0.006	3.165	0.018	0.019							
34	149.533	13.764	2.525								149.543	0.010	13.764	0.001	2.525	0.000	0.010														
36	151.363	13.551	4.153								151.362	0.001	13.547	0.004	4.152	0.002	0.004														
37	156.725	11.914	3.556								156.724	0.000	11.912	0.002	3.555	0.001	0.003	156.719	0.005	11.908	0.006	3.548	0.008	0.011							
38	158.199	11.231	3.403								158.201	0.002	11.226	0.005	3.398	0.004	0.007	158.195	0.004	11.230	0.001	3.395	0.007	0.009							
39	159.642	10.856	2.897								159.644	0.002	10.832	0.024	2.876	0.021	0.032														
40	161.403	12.885	3.105								161.406	0.002	12.288	0.003	3.109	0.004	0.006	161.399	0.005	12.286	0.001	3.107	0.002	0.005							
50	277.121	14.849	4.204	277.123	0.001	14.855	-0.006	4.204	0.001	0.007	277.117	0.004	14.851	0.002	4.197	0.008	0.009	277.124	0.002	14.843	0.005	4.190	0.014	0.016	277.127	0.005	14.842	0.007	4.190	0.014	0.017
51	272.445	14.231	3.774	272.447	0.002	14.233	-0.003	3.769	0.005	0.006	272.411	0.034	14.221	0.010	3.764	0.009	0.036	272.412	0.033	14.206	0.025	3.754	0.019	0.046	272.418	0.027	14.211	0.019	3.758	0.016	0.037
52	263.935	10.287	2.620	263.944	0.009	10.287	0.000	2.618	0.002	0.009	263.925	0.011	10.288	0.000	2.608	0.012	0.016	263.931	0.005	10.292	0.005	2.605	0.015	0.016	262.789	1.147	9.267	1.020	1.853	0.767	1.716
53	264.564	8.221	2.050	264.575	0.012	8.218	0.003	2.049	0.001	0.012	264.568	0.004	8.198	0.023	2.040	0.010	0.025	264.556	0.008	8.250	0.030	2.054	0.004	0.031							
54	267.838	9.544	2.015	267.832	0.006	9.532	0.012	2.007	0.008	0.015	267.834	0.003	9.527	0.017	1.999	0.016	0.024	267.838	0.000	9.511	0.032	1.984	0.031	0.045	267.804	0.034	9.462	0.082	1.962	0.053	0.103
55	268.512	8.917	2.301	269.446	0.935	10.450	-1.533	2.705	-0.404	1.840	271.480	2.969	7.109	1.808	1.890	0.411	3.500	271.482	2.970	7.117	1.800	1.889	0.412	3.498	269.458	0.946	10.456	1.539	2.703	0.402	1.851
56	272.111	9.117	2.431	271.488	0.623	7.121	1.995	1.902	0.529	2.156	269.447	2.664	10.456	1.339	2.707	0.276	2.994	269.444	2.666	10.445	1.328	2.696	0.265	2.991							
57	272.133	10.869	2.709	272.137	0.004	10.872	-0.003	2.707	0.003	0.006	272.140	0.007	10.868	0.002	2.698	0.012	0.014	272.139	0.006	10.862	0.008	2.695	0.014	0.017	272.142	0.009	10.859	0.010	2.696	0.013	0.019
58	275.401	11.088	1.920	275.405	0.004	11.093	-0.005	1.921	-0.001	0.006	275.396	0.005	11.095	0.007	1.918	0.002	0.009	275.398	0.003	11.088	0.000	1.914	0.006	0.007	275.399	0.002	11.094	0.006	1.917	0.003	0.007
59	274.608	9.310	2.915	274.615	0.007	9.320	-0.010	2.919	-0.004	0.013	274.614	0.005	9.304	0.006	2.913	0.002	0.008	274.615	0.007	9.288	0.022	2.908	0.007	0.024	274.622	0.014	9.294	0.016	2.914	0.001	0.021
60	279.716	9.462	2.107	279.705	0.011	9.476	-0.014	2.108	-0.001	0.017	279.704	0.012	9.471	0.009	2.103	0.004	0.016	279.707	0.009	9.463	0.001	2.100	0.007	0.012	279.706	0.010	9.486	0.024	2.107	0.000	0.026
61	280.669	8.268	1.979	280.661	0.007	8.279	-0.010	1.984	-0.005	0.014	280.672	0.004	8.265	0.004	1.983	0.004	0.006	280.668	0.000	8.261	0.008	1.980	0.001	0.008	280.677	0.008	8.269	0.000	1.985	0.006	0.010
62	284.351	7.602	2.532	284.338	0.013	7.608	-0.006	2.531	0.001	0.014	284.347	0.005	7.609	0.007	2.527	0.005	0.010	284.373	0.022	7.597	0.005	2.520	0.012	0.025	284.365	0.014	7.605	0.002	2.525	0.007	0.016
63	286.358	10.377	2.751	286.348	0.009	10.398	-0.021	2.755	-0.005	0.023	286.349	0.009	10.383	0.006	2.750	0.001	0.011	286.360	0.002	10.372	0.005	2.740	0.010	0.012	286.358	0.000	10.373	0.004	2.742	0.008	0.009
64	289.166	9.173	0.956	289.167	0.001	9.175	-0.001	0.955	0.001	0.002	289.172	0.006	9.178	0.004	0.952	0.005	0.009	289.169	0.004	9.185	0.011	0.951	0.005	0.013							
65	291.373	11.426	0.999	291.370	0.003	11.428	-0.001	0.997	0.002	0.004	291.393	0.020	11.419	0.007	0.986	0.013	0.025	291.348	0.024	11.412	0.014	0.988	0.011	0.030							
66	292.651	12.370	2.152	292.634	0.017	12.377	-0.006	2.153	-0.002	0.019	292.620	0.032	12.363	0.008	2.142	0.010	0.034	292.649	0.002	12.386	0.016	2.159	0.007	0.017	292.647	0.004	12.382	0.012	2.158	0.006	0.014
67	297.198	12.184	1.865	297.199	0.001	12.181	0.003	1.864	0.002	0.003	297.20268	0.005	12.17401433	0.010	1.861	0.004	0.012	29													



## Anexo N







## Anexo O





1. Inicia-se o programa aparecendo a seguinte janela;

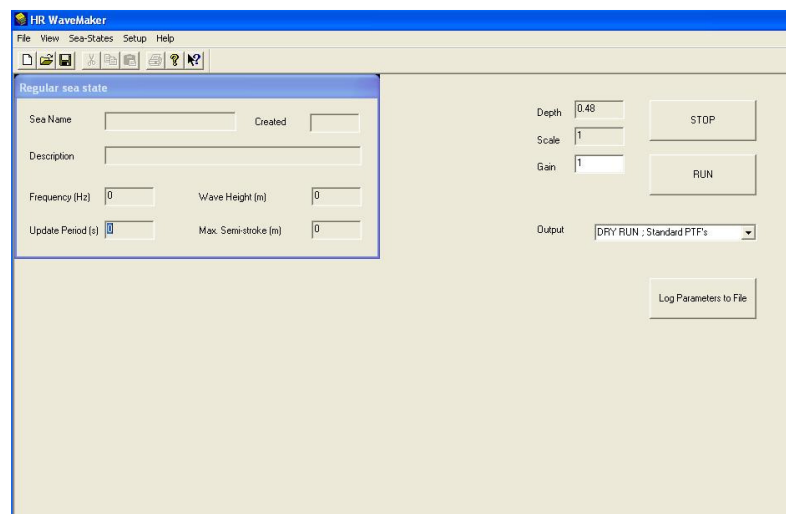


Figura O.1 – Página Inicial do Programa

2. Parâmetros do Projeto;

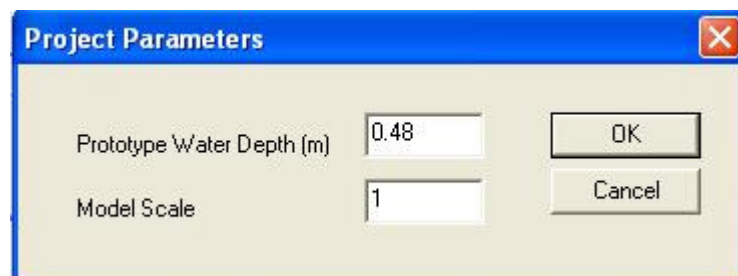


Figura O.2 – Parâmetros do Projeto

3. Posteriormente, e de acordo com o tipo de onda que se pretende gerar escolhe-se;

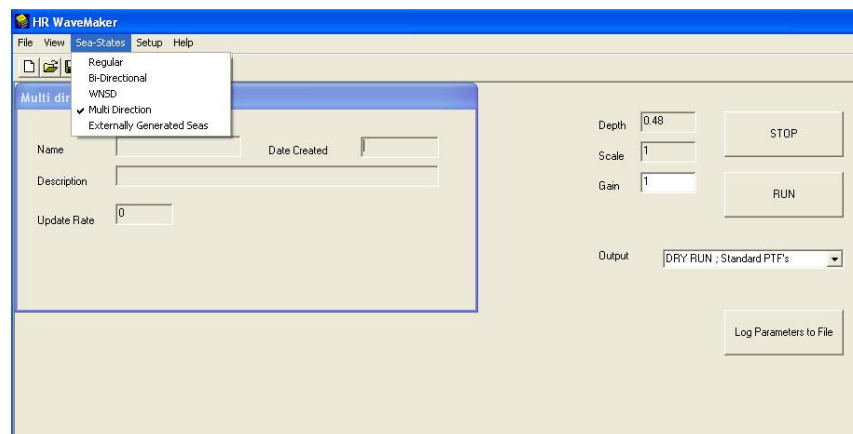


Figura O.3 – Tipo de Ondas a Gerar

4. Opcionalmente pode-se definir os offset das pás se necessário e ainda as características gerais do projeto;

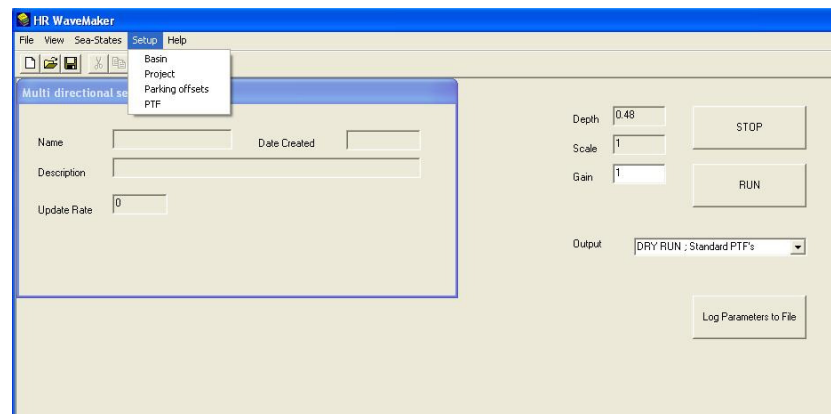


Figura O.4 - Setup

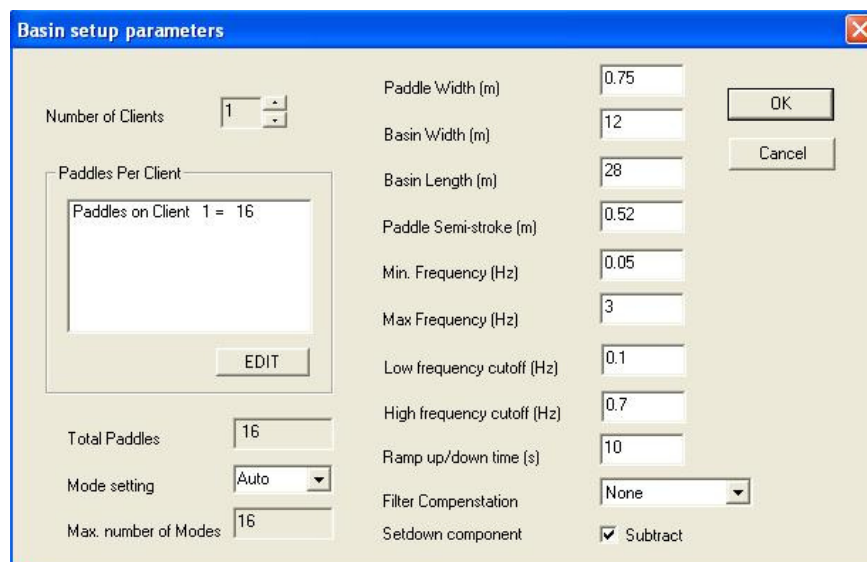


Figura O.5 - Basin Setup Parameters

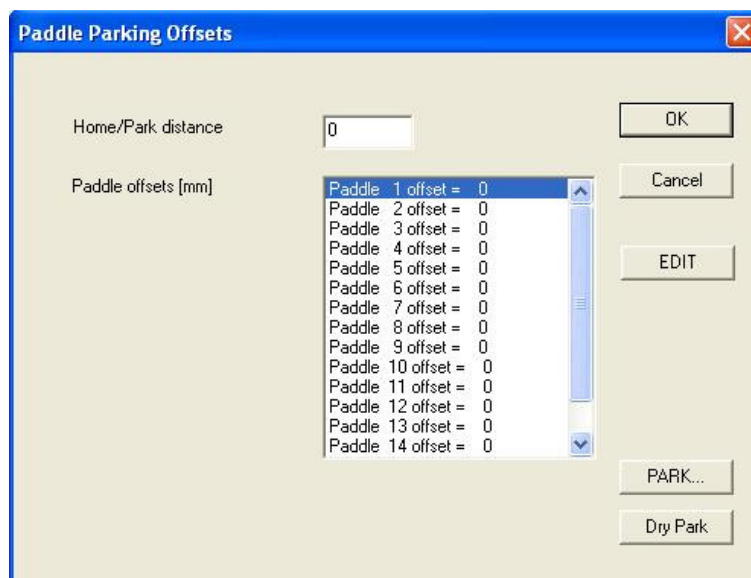


Figura O.6 - Offset das Pás

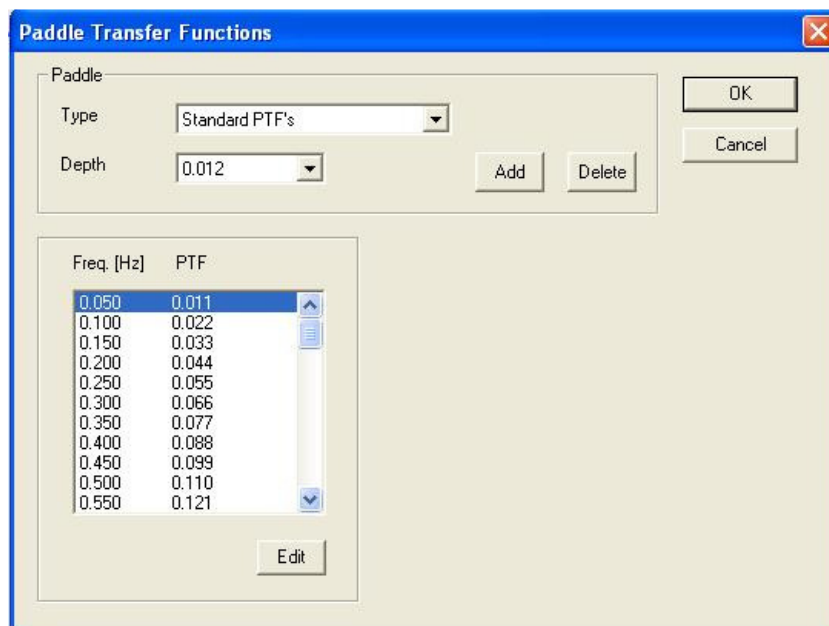


Figura O.7 - Paddle Transfer Functions

5. Após a escolha do tipo de onda, fazemos escolhemos o espectrum e “Spread” que desejamos para o projeto;



WNSD Sea Generation

Name: Wnsd

Description:

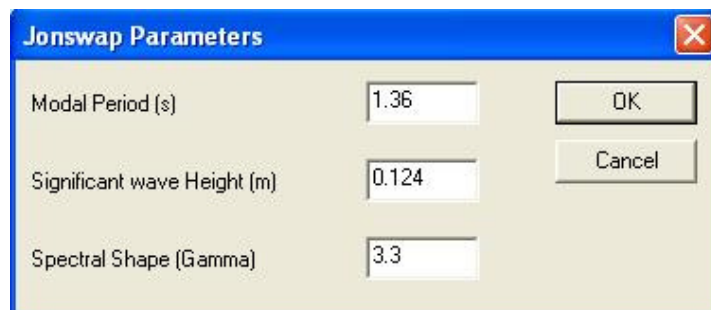
Spread: LONG CRESTED

Spectrum: JONSWAP

OK Cancel

Figura O.8 - Espectro e “Spread”

6. Seguidamente aparece a janela para a definição do período, altura significativa da onda e spectral shape (gamma);



Jonswap Parameters

Modal Period (s): 1.36

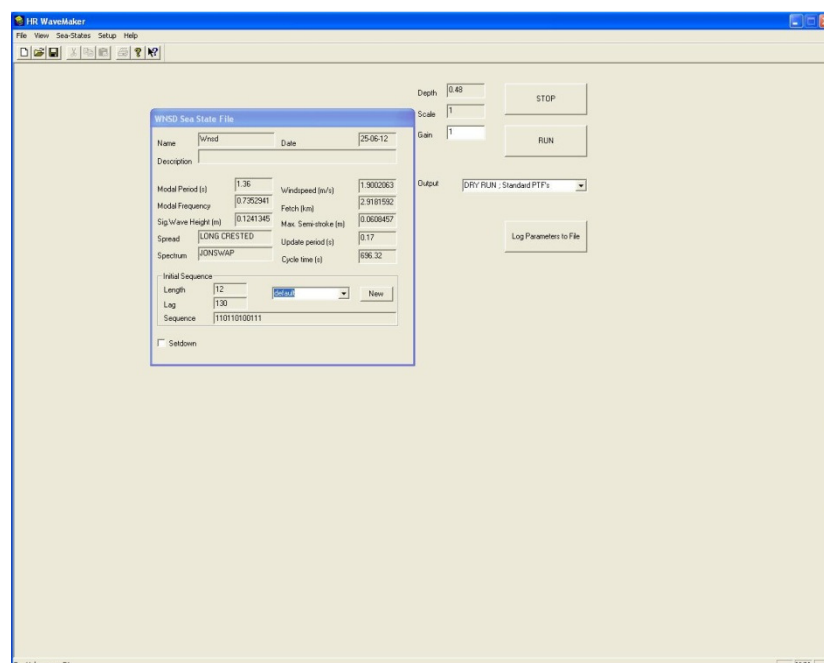
Significant wave Height (m): 0.124

Spectral Shape (Gamma): 3.3

OK Cancel

Figura O.9 - Jonswap Parameters

7. São caracterizados automaticamente os parâmetros do quadro que se segue;



WNSD Sea State File

Name: Wnsd Date: 25-06-12

Description:

Modal Period (s): 1.36 Wind speed (m/s): 1.9002063

Modal Frequency: 0.7352941 Fetch (m): 2.9181592

Significant wave Height (m): 0.1241345 Max. Sine stroke (m): 0.0608457

Spread: LONG CRESTED Update period (s): 0.17

Spectrum: JONSWAP Cycle time (s): 696.32

Initial Sequence: Length: 112 Seq: 130 Sequence: 11010100111

Setdown

Depth: 0.49 Scale: 1 Gain: 1 Output: DRY RUN - Standard PTF's

STOP RUN Log Parameters to File

For help, press F1

Figura O.10 - WNSD Sea State File

8. As ondas a gerar estão caracterizadas;

9. Pode-se fazer um teste e correr as ondas virtualmente para verificar se está tudo operacional e de acordo com o que é pretendido;

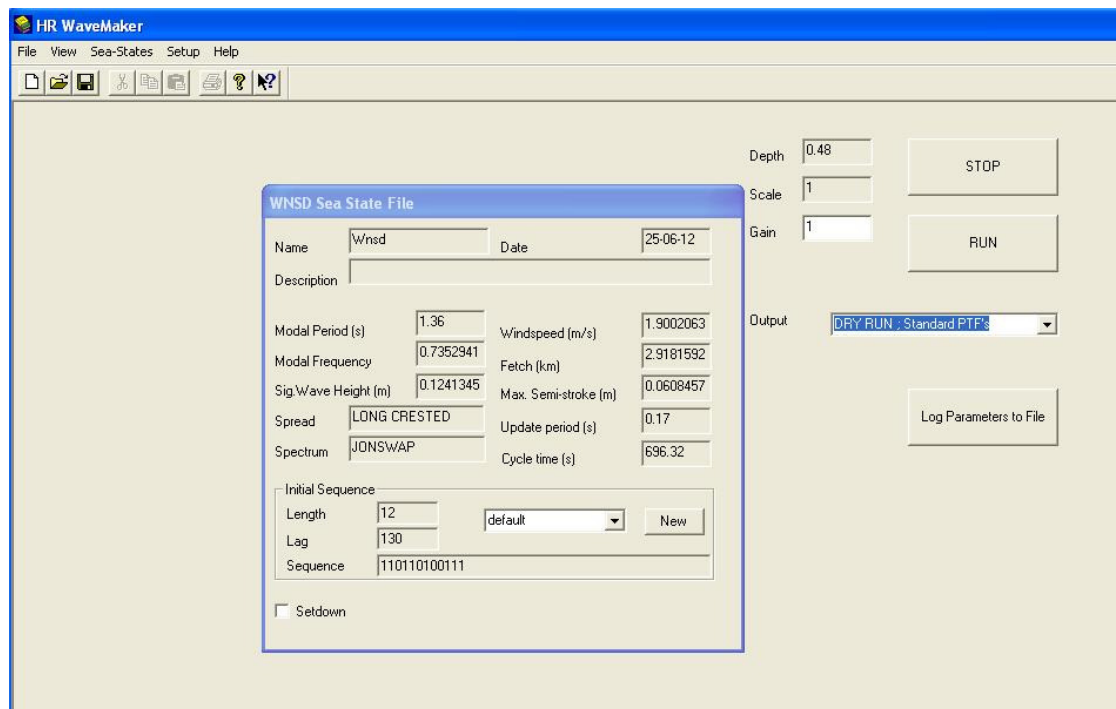


Figura O.11 - Teste de Operacionalidade – DRY RUN Test

10. Altera-se para as pás principais;

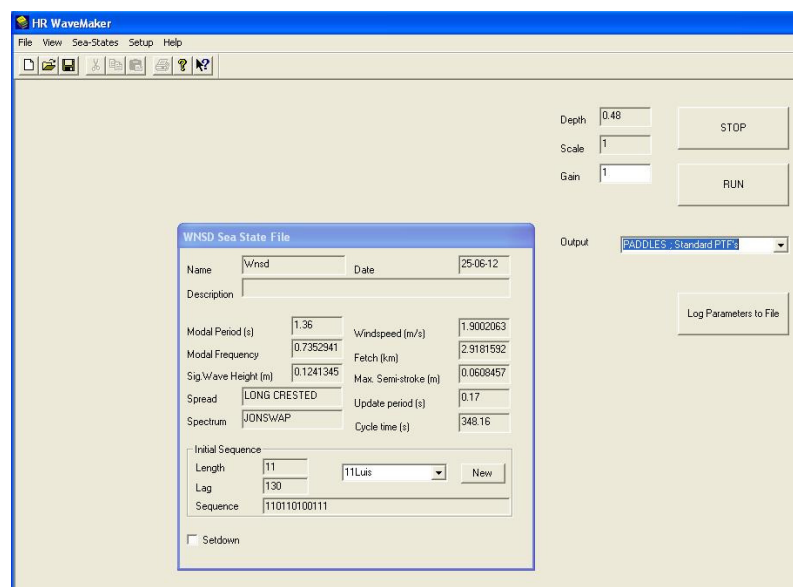


Figura O.12 - Pás Principais - PADDLES

11. Define-se se se pretende que as pás tenham algum ganho significativo de modo a obter a onda com as características desejadas;

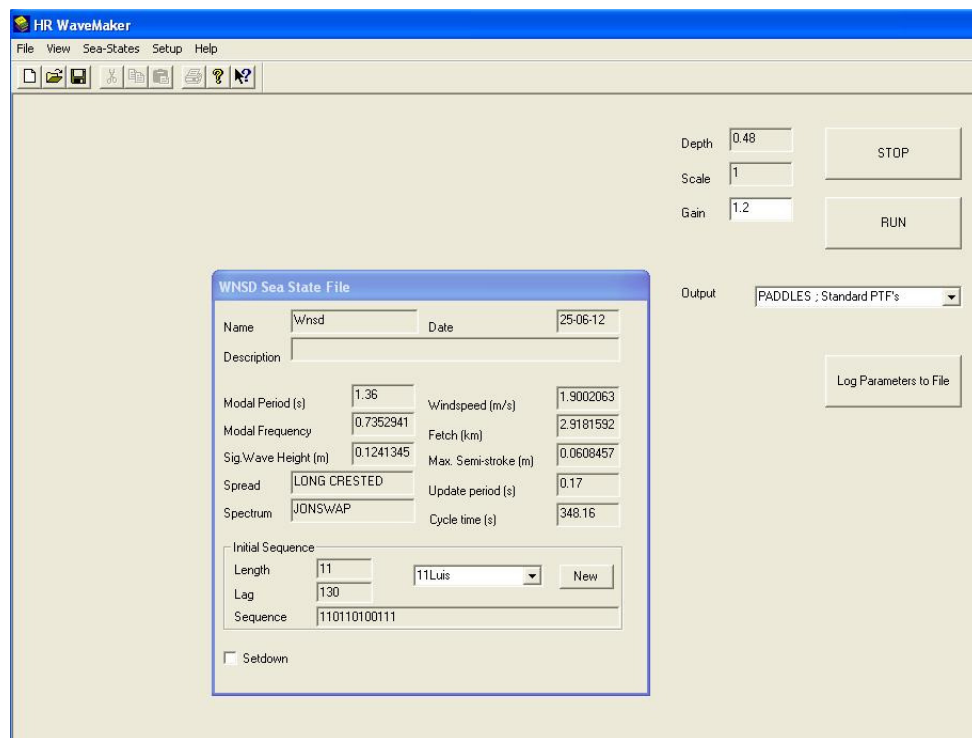


Figura O.13 - Ganho

11. Corre-se o programa e as ondas começam a ser geradas.

## Anexo P





1. Colocar as sondas no tanque de ondas
2. As sondas são colocadas segundo as distâncias já pré definidas de acordo com a secção do software própria para o efeito “Reflection Analysis” disponível no programa para o efeito.

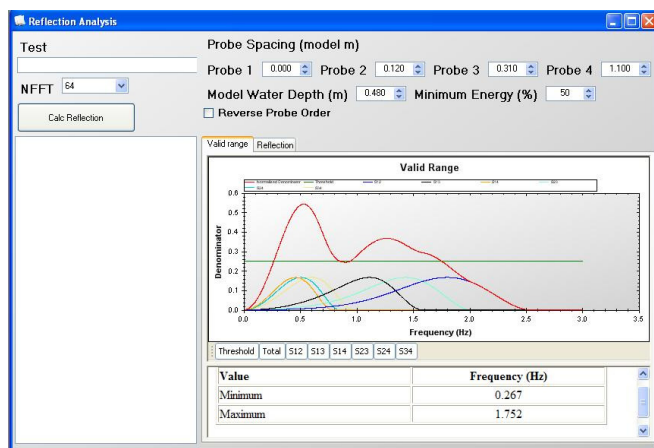


Figura P.1 – Reflection Analysis.jpg

As frequências máxima e mínima têm de estar dentro dos valores indicados na figura, de acordo com os parâmetros definidos para os ensaios. Os valores são balizados entre os 0.5 e os 2, de acordo com a tabela que se segue.

Períodos T(s)	Frequências (HZ)	Freq Min	Freq Max
1.36	0.735	0.368	1.471
1.49	0.671	0.336	1.342
1.63	0.613	0.307	1.227

Tabela P.1 – Cálculos - Ensaios.xls

3. Após a colocação das sondas inicia-se o programa.
4. Cria-se o projeto de acordo com a seguinte janela

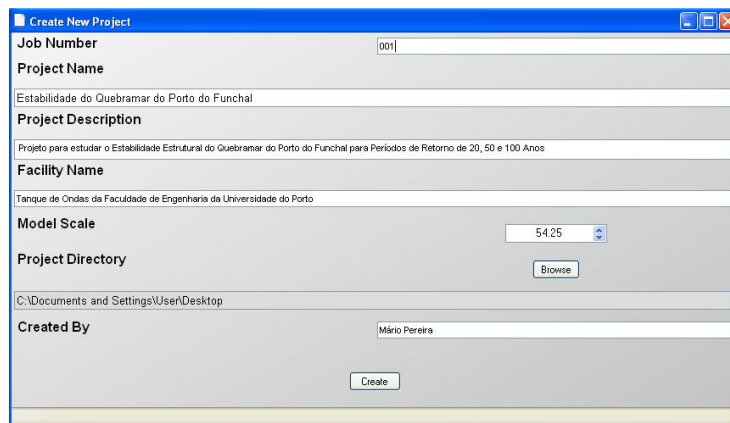


Figura P.2 – New project.jpg

5. Aparece a janela Project Explorer onde se procederá à definição dos parâmetros associados a cada uma das sondas;

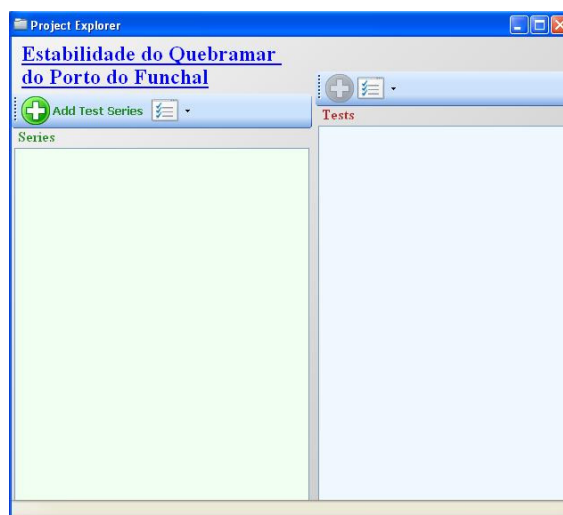


Figura P.3 – Project Explorer.jpg

6. Adiciona-se as Séries que desejamos e configuramos a Calibração, a Aquisição de dados e o Processamento de dados



Figura P.4 – Select Test Series Type.JPG

## 7. Prossegue-se para a Calibração

Na calibração escolhemos as sondas e os respectivos canais que pretendemos calibrar pela janela

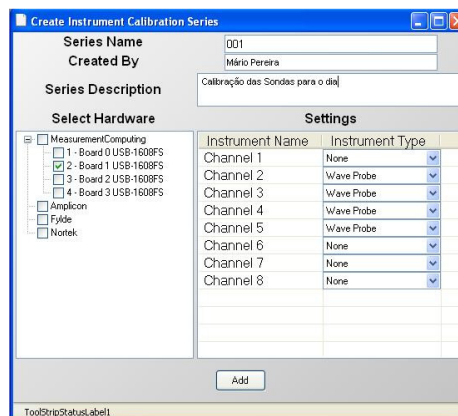


Figura P.5 – Create Instrument Calibration Series.JPG

## 8. Aparece a janela seguinte;

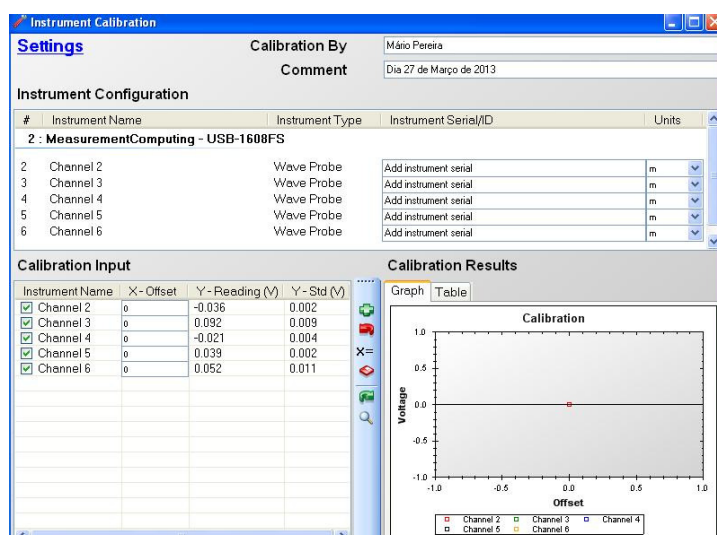


Figura P.6 – Instrument Calibration.JPG

Nesta janela são definidos os valores centrais, os valores inferiores e os valores superiores, isto é, subimos e descemos a sonda um determinado valor em centímetros e damos essa indicação no “Calibration Input” para que o programa ajuste os valores automaticamente. O programa gera resultados que indicam se a calibração foi corretamente realizada. Grava-se os dados que irão ser usados durante o dia.

Os resultados são visualizados em

Instrument Calibration

Calibrated by Mário Pereira on 2013/03/26 11:42:45

#	Instrument Name	Instrument Type	Ins...	Un...	Calibration	Zero	R²	95% CI @ FSD
<b>2 : MeasurementComputing - USB-1608FS</b>								
2	Channel 2	Wave Probe	S1	m	0.0426115482565042	-0.0195437520680328	0.999893476146261	0.000725213869667007
3	Channel 3	Wave Probe	S2	m	0.0251106385004314	-0.0964614256223041	0.999946208441522	0.000309647763209242
4	Channel 4	Wave Probe	S3	m	0.0371310128482495	-0.0795646106451749	0.999558242181396	0.00130175704360419
5	Channel 5	Wave Probe	S4	m	0.0360304146645353	0.0100628269587954	0.99986445728125	0.000218656669521866
6	Channel 6	Wave Probe	S5	m	0.0402662916201619	-0.03258932008521223	0.99988453052436	0.000226081414316237

Figura P.7 – Instrument Calibration - Resultados.JPG

O parâmetro a ter em consideração é R2 que terá obrigatoriamente que ser superior a 0.999.

#### 9. Concluída a fase de calibração, inicia-se a fase de Aquisição

Data Acquisition Series: Estabilidade do Quebramar do Porto do Funchal

#	Name	Type	Calibration	Zero
<b>2 : MeasurementComputing - USB-1608FS</b>				
2	Channel 2	Wave Probe	0.043 mV	-0.020
3	Channel 3	Wave Probe	0.025 mV	-0.096
4	Channel 4	Wave Probe	0.037 mV	-0.080
5	Channel 5	Wave Probe	0.036 mV	0.010
6	Channel 6	Wave Probe	0.040 mV	-0.033

**Estabilidade** Update Zeros

Test By: Mário Pereira Last

Test Name: 005 Auto

Comment: Período de Retorno 100 Anos

Duration (s): 840 Start

Progress Time Remaining: 00:00:00 Status: Ready

Figura P.8 – Data Acquisition Series.JPG

Temos a indicação das sondas que entram na série e completamos a informação com o nome de quem está a operar o projeto, o nome do teste, algum comentário e a sua duração. A duração é dada pela indicação do software de geração de ondas que indica a duração do espectro para o qual não existe repetição. Ao fim desse período as ondas voltam a repetir-se pelo que devera-se suspender o ensaio.

#### 10. Após a aquisição decorrer de acordo com o intervalo definido, são processados os dados

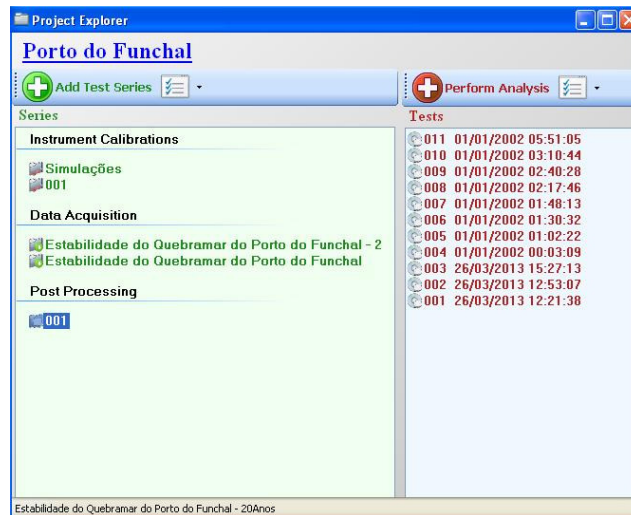


Figura P.9 – Post Processing.jpg

11. Os dados são processados de acordo com as características definidas para o pós processamento

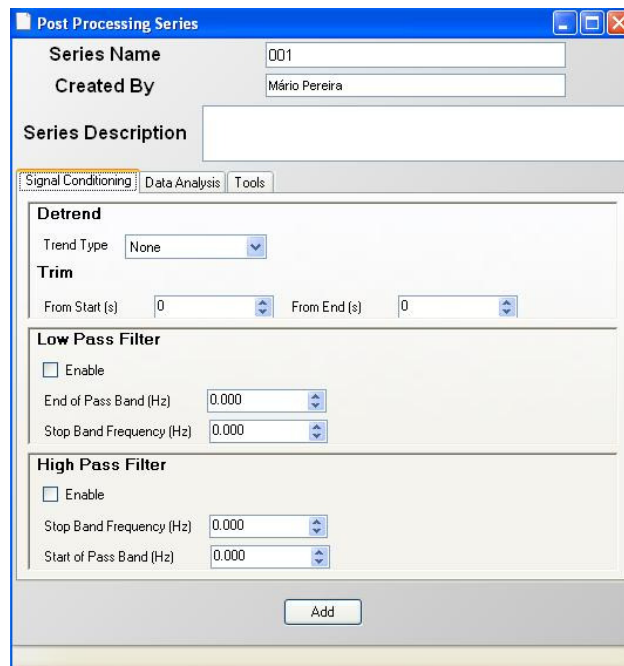


Figura P.10 – Pos Processing Series - Signal Conditioning.JPG

**Post Processing Series**

Series Name: 001

Created By: Mário Pereira

Series Description:

Signal Conditioning | **Data Analysis** | Tools

**Statistical**

☐ Enable

**Zero Crossing**

☐ Enable

Reference Level: Zero

☐ IAHR Down Crossing ☒ IAHR Up Crossing

**Spectral Density**

☐ Enable

Frequency Interval (Hz): 0.000

Add

Figura P.11 – Pos Processing Series - Data Analysis.JPG

**Post Processing Series**

Series Name: 001

Created By: Mário Pereira

Series Description:

Signal Conditioning | Data Analysis | **Tools**

☐ Export Time Series to csv

☐ Export PSD to csv

Add

Figura P.12 – Pos Processing Series - Tools.JPG

12. Processados os dados são criados várias janelas de análise de resultados para os quais são possíveis retirar algumas conclusões para o conjunto das sondas, ou para cada uma delas individualmente. Os quadros são:

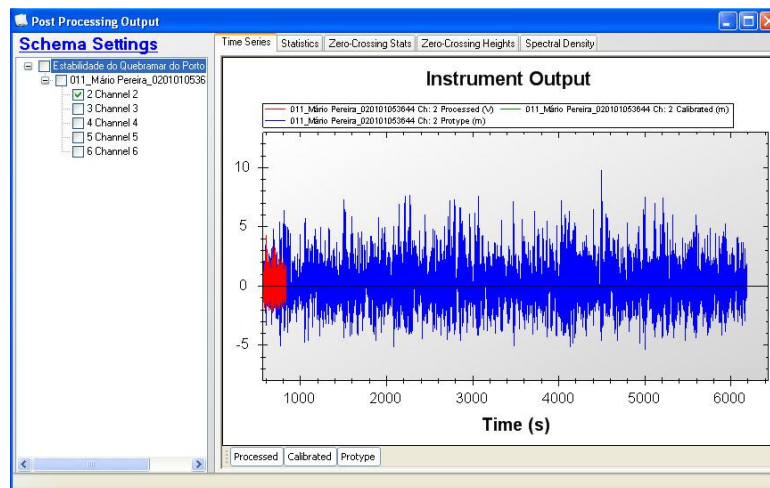


Figura P.13 – Post Processing Output - Time Series.JPG

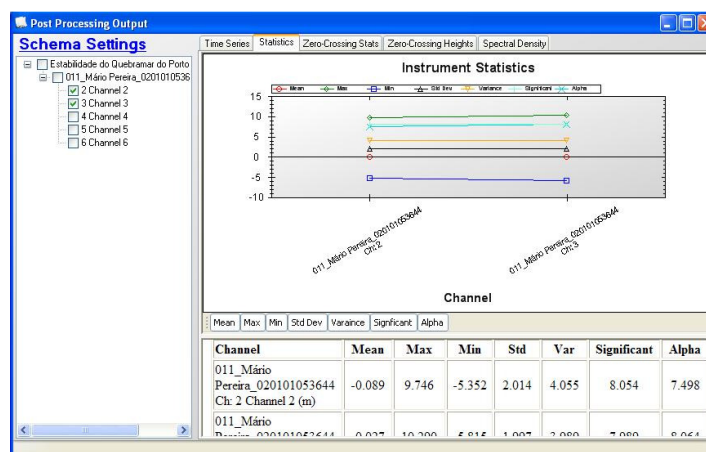


Figura P.14 – Post Processing Output - Statistics.JPG



Figura P.15 – Post Processing Output - Zero-Crossing Stats.JPG

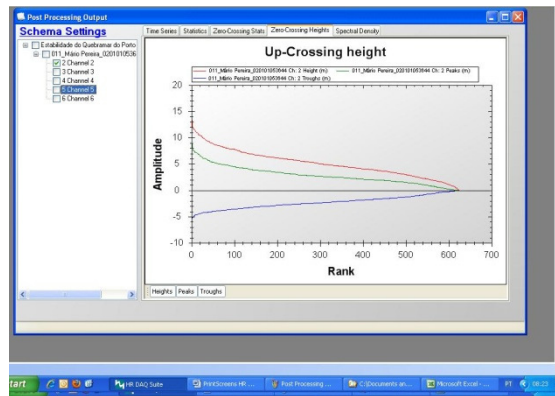


Figura P.16 – Post Processing Output - Zero-Crossing Heights.JPG

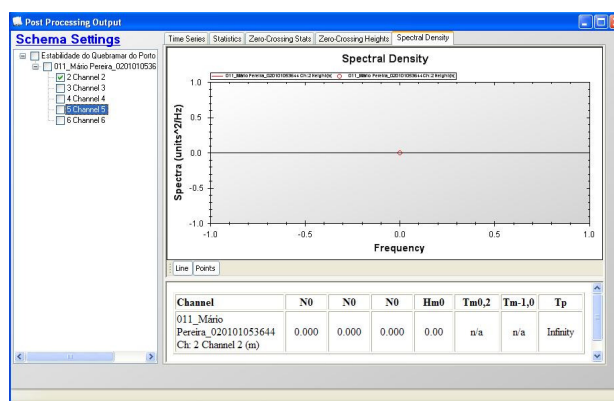


Figura P.17 – Post Processing Output - Spectral Density.JPG

10. O reflection Analysis permite calcular a reflexão provocada pela estrutura permitindo uma análise direcionada.



## Anexo Q



```

%Mário Pedro Moreira Pereira
%Doutoramento em Engenharia Geográfica
%Departamento de Geociências e Ordenamento do Território
%Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%PROGRAMA PARA ANÁLISE ESTATICA E DINÂMICA DE ESTRUTURAS PLANAS PELO MEF%
%           EF de placa de 8 nós                                     %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clc; clear all; close all

% Permite ao utilizador escolher o ficheiro de dados
[FileName, PathName] = uigetfile ('*.xls','Selecione o ficheiro','.\');

% strcat - permite a concatenação ("soma") de strings
FICH_DADOS = strcat(PathName, FileName);

tic % inicializa a contagem do tempo de cálculo

% Parâmetros não incluídos no ficheiro de dados
esp = 1; % espessura dos EF
NGLNO = 2; % nº de graus de liberdade por nó
NNOE = 8; % nº de nós por elemento
NPG = 9; % nº de pontos de Gauss(3 pontos de gauss por direcção
NPG=3^2=9)
Kapoio =1e15; %Rigidez das "molas" nos apoios rígidos
g=9.81; %Aceleração da gravidade (m/s2)
NMOD=6 %Numero modos de vibração a considerar (no máximo poderá ser igual
a NGL=NP*NGLNO)

Y=sqrt(3/5);
yPG=[ Y -Y;
      Y Y;
     -Y Y;
     -Y -Y;
      Y 0;
      0 Y;
     -Y 0;
      0 -Y;
      0 0]; % Matriz com as coord. locais do PG
AY = 5/9; BY = 8/9;
APG =[AY^2; AY^2; AY^2; AY^2; AY*BY; AY*BY; AY*BY; AY*BY; BY^2]; % Area
associada a cada PG no "master"

%Sequência dos nós para desenho de cada elemento finito
nod=9; no = [1 5 2 6 3 7 4 8 1];

% Leitura do ficheiro de dados
% Matrices coord e apoios
A = xlsread(FICH_DADOS, 'Nos');
NP = A(1,2); % nº de pontos da discretização

F_combinacao=A(1,5:9); %factores de combinação das ações

```

```

NGL=NP*NGLNO; %Nº total de graus de liberdade da estrutura
coord = A(4:NP+3,2:3); % matriz coord com as coordenadas dos nós
apoios = A(4:NP+3,4:5); % matriz apoios
forças_concentradas = A(4:NP+3,6:7); % Forças concentradas
Fondas(1:2*NP,1)=0;
ngl=0;
for i=1:NP; for GL=1:2
    ngl=ngl+1;
Fc(ngl,1)=forças_concentradas(i,GL);
end; end

clear A

% Matriz elem e vetor imat
A = xlsread(FICH_DADOS, 'Elementos');
NE = A(1,2); % nº de elementos finitos
elem = A(4:3+NE,2:NNOE+1); % matriz elem com a definição dos elementos
imat = A(4:3+NE,NNOE+2); % vetor com o tipo de material em cada EF
clear A

% Vetores E, Niu, EPTD e Pesp
A = xlsread(FICH_DADOS, 'Materiais');
nmat = A(1,2); % nº de materiais
E = A(4:3+nmat,2); % vetor com os módulos de elasticidade dos materiais
Niu = A(4:3+nmat,3); % vetor com coef. de Poisson
EPTD = A(4:3+nmat,4); % vetor com EPT = 0 e EPD =1
Pesp = A(4:3+nmat,5); % vetor com os pesos específicos dos materiais
clear A

% Montagem das matrizes de elasticidade para todos os materiais
% -----
Dmat (1:3,1:3,1:nmat) =0; % inicializar a zeros

for n = 1:nmat
    if EPTD (n) == 0 % Estado Plano de Tensão (EPT)
        Dmat(1,1,n) = E(n)/(1-Niu(n)^2);
        Dmat(2,2,n) = Dmat (1,1,n);
        Dmat(1,2,n) = Dmat(1,1,n)*Niu(n);
        Dmat(2,1,n) = Dmat(1,2,n);
        Dmat(3,3,n) = E(n)/(2*(1+Niu(n)));
    else % Estado Plano de Deformação (EPD)
        Dmat(1,1,n)= E(n)*(1-Niu(n))/((1+Niu(n))*(1-2*Niu(n)));
        Dmat(2,2,n)= Dmat(1,1,n);
        Dmat(1,2,n)= E(n)*Niu(n)/((1+Niu(n))*(1-2*Niu(n)));
        Dmat(2,1,n)= Dmat(1,2,n);
        Dmat(3,3,n)= E(n)/(2*(1+Niu(n)));
    end
end

%
% Desenho da malha de Elementos finitos
%
figure(1)
xlmax=max(coord(:,1)); x2max=max(coord(:,2));
xlmin=min(coord(:,1)); x2min=min(coord(:,2));
dimx1=xlmax-xlmin; %dimensão na dir.x1

```

```

dimx2=x2max-x2min; %dimensão na dir.x2
ax=[x1min-0.1*dimx1 x1max+0.05*dimx1 x2min-0.1*dimx2 x2max+0.05*dimx2];
xlabel('metros');ylabel('metros')

axis equal; axis(ax);
hold on
x1e(1:nod)=0; x2e(1:nod)=0;
for n=1:NE
    for i=1:nod % ciclo ao nº de nós para desenho, por elemento
        x1e(i)=coord(elem(n,no(i)),1); %vetor com as coordenadas x1 dos
nos do elemento n
        x2e(i)=coord(elem(n,no(i)),2); %vetor com as coordenadas x2 do
elemento n
    end
    x1e(nod)=x1e(1); x2e(nod)=x2e(1);
    plot(x1e,x2e)
    fill(x1e,x2e,x1e./x1e*imat(n));
end

% hold on
%
legend('1','2','3','4','5','6','7','8','9','10','11','12','13','14','15',
'marker','square','Location','northwest')

%
% Calculo das matrizes de rigidez elementares e do vetor elementar
% das forças nodais equivalentes ao pp
% Assemblagem da matriz de rigidez global K
% Assemblagem do vetor das forças nodais F (equivalentes ao peso
prprio)
%
K(1:NGL,1:NGL)=0; Fg(1:NGL,1)=0; %Inicialização a zeros da matriz K e
vector Fg
M(1:NGL,1:NGL) = 0; %Inicialização a zeros da matriz de massas
for n=1:NE % Ciclo ao numero de elementos
    D=Dmat(:, :, imat(n));
    f = [0; -Pesp(imat(n))]; %vetor das forças mássicas (pp)
    Mesp=abs(Pesp(imat(n))/g); % matriz diagonal 2x2 com a massa
especifica do material
    for i=1:NNOE %ciclo ao n. de nos do elemento
        for j=1:NGLNO %ciclo ao n. de GL por nó
            xe(j,i)=coord(elem(n,i),j); % matriz xe com as coord. dos nós de
cada elemento
        end %fim do ciclo for j=1:NGLNO
    end %Fim do ciclo for i=1:NNOE

    Ke(1:NNOE*NGLNO,1:NNOE*NGLNO)=0; Feg(1:NNOE*NGLNO,1)=0;
    Me(1:NNOE*NGLNO, 1:NNOE*NGLNO) = 0;
    for iPG=1:NPG %Ciclo aos Pontos de Gauss do elemento
        y1=yPG(iPG,1); y2=yPG(iPG,2);

        [Nc N J B] = matNJB8 (xe,y1,y2); % Função matNJB que
% calcula Nc, N, J e B

```

```

    Ke = Ke + esp*B'*D*B*det(J)*APG(iPG); %Ke
    Me = Me + esp*N'*N*Mesp*APG(iPG)*det(J); % Somatorio para obter a
matriz de massas elementar Me
    Feg = Feg + esp*N'*f*det(J)*APG(iPG); %Feg Forças gravíticas
    end %Fim do ciclo aos pontos de Gauss
%
% Assemblagem da matriz K e do vector das forças F. Espalhamento
% das matrizes Ke e dos vectores Fe
%
for i=1:NNOE; for ik=1:NGLNO %Dois ciclos para percorrer as linhas da
                                %matriz K(li,col) [li=1:36 , col=1:36
(NGL=18*2=36)]
    noGi=elem(n,i); % no_Global (linhas): elemento n , i_ésimo nó
    GLGi=(noGi - 1)*NGLNO + ik; % GL_Global (linhas) - varia de 1 a 36
(NGL=36)
    GLEi=(i-1)*NGLNO+ik; % GLElemento (linhas) - varia de 1 a 16

    for j=1:NNOE; for jk=1:NGLNO % Dois ciclos para percorrer as colunas
da
                                % matriz K(li,col)
        noGj=elem(n,j); % noGlobal (colunas): elemento n , j_ésimo nó
        GLGj=(noGj - 1)*NGLNO + jk; % GL_Global (colunas):varia de 1 a 36
(NGL=36)
        GLEj=(j-1)*NGLNO+jk; % GLElemento (colunas) - varia de 1 a 16

        K(GLGi,GLGj) = K(GLGi,GLGj)+ Ke(GLEi,GLEj); %Assemblagem da matriz
de rigidez global
        M(GLGi,GLGj) = M(GLGi,GLGj)+ Me(GLEi,GLEj); %Assemblagem da matriz
de massas global
    end; end %Fim do par de ciclos para percorrer as colunas

    Fg(GLGi,1) = Fg(GLGi,1) + Feg(GLEi); % Assemblagem do vector das
forças

end; end %Fim do par de ciclos para percorrer as linhas

end % Fim do ciclo aos elementos for n=1:NE

%
% Introdução dos apoios
%
for i=1:NP; for ik=1:NGLNO %Ciclo aos elementos da diagonal
    if apoios(i,ik)== 1
        K( (i-1)*NGLNO+ik , (i-1)*NGLNO+ik ) = K((i-1)*NGLNO+ik,(i-
1)*NGLNO+ik) + Kapoio;
    end
end; end

%
% Tensoes aplicadas do tipo PONDAS
%
A = xlsread(FICH_DADOS, 'PONDAS');
SWL=A(1,2); p1=A(2,2);

```

```

cota2=A(1,4); p2=A(2,4);
cota3=A(1,6); p3=A(2,6);

gamaH=A(4,2);

nfacesPH=A(6,2);
NENFH=A(8:7+nfacesPH,1:2);

YGF=[1 -Y; 1 0; 1 Y; Y 1; 0 1; -Y 1; -1 Y; -1 0; -1 -Y; -Y -1; 0 -1; Y -
1]; %3 pontos por face(lado)
WPGF=[AY BY AY];
FSH(1:NGL,1)=0;
NPGF=3;
iii=0; %Inicialização do contador do nº de pontos de Gauss
for n=1:nfacesPH; %Ciclo ao numero de faces (lados) com pressão da água
    nli=0;
    for j=1:NNOE; for i=1:2;
        nli=nli+1;
        xe(i,j)=coord(elem(NENFH(n,1),j),i); %Matriz com as coord. x1 e x2
    dos nós do elemento n
        ce(nli)=coord(elem(NENFH(n,1),j),i); %Vector com as coord. x1 e x2
    dos nós do elemento n
    end; end;

FeFSUPH(1:NNOE*2)=0;
for i=1:NPGF % Ciclo aos pontos de Gauss de cada face
    iii=iii+1;
    iPG=(NENFH(n,2)-1)*2+i;
    y1=YGF(iPG,1); y2=YGF(iPG,2); % Coordenadas locais do PGauss iPG

    [Nc N J B] = matNJB8 (xe,y1,y2); % Função matNJB q

Jinv=inv(J); % Cálculo da matriz jacobiana no ponto de Gauss ix

    if NENFH(n,2)==1; eixoN=1; isig=1 ; end;
    if NENFH(n,2)==2; eixoN=2; isig=1 ; end;
    if NENFH(n,2)==3; eixoN=1; isig=-1 ; end;
    if NENFH(n,2)==4; eixoN=2; isig=-1 ; end;

xy_PGauss=N*ce';
y_PGauss=xy_PGauss(2); %Cota de cada ponto de Gauss

if y_PGauss > SWL
    d= y_PGauss-SWL;
    D=cota2-SWL;
    px=p1-(p1-p2)/D*d;
else
    d= SWL-y_PGauss;
    D=SWL-cota3;
    px=p1-(p1-p3)/D*d;
end; %Fim do if y_PGauss > SWL

PX(iii)=px;
CPG(iii)=y_PGauss;

```

```

NORM=(sqrt(Jinv(eixoN,1)^2+Jinv(eixoN,2)^2));
Vnorm=Jinv(eixoN,:)/NORM; %Normal unitaria
DETT=det(J)/(sqrt(J(1,eixoN)^2+J(2,eixoN)^2));

Fix=-esp*N'*px*Vnorm*isig*DETT*WPGF(i); % Matrizes no PG ix para obter
os integrais Fe
FeFSUPH=FeFSUPH+Fix';
end; %Fim do ciclo for i=1:NPGF

% Assemblagem do vector das forças FSH. Espalhamento dos vectores FeFSUPH
for i=1:NNOE; for ik=1:2
    FSH((elem(NENFH(n,1),i)-1)*2+ik,1)=FSH((elem(NENFH(n,1),i)-
1)*2+ik,1)+FeFSUPH((i-1)*2+ik);
end; end

end %Fim do ciclo for n=1:NEFSUPH

figure(10); [CPGo iord]=sort(CPG);plot(PX(iord),CPGo)

clear NENFH PX CPG
%
% Tensoes aplicadas do tipo Subpressao
%
A = xlsread(FICH_DADOS, 'Subpressao');
xmar=A(1,2); pmar=A(2,2);
xporto=A(1,4); pporto=A(2,4);

nfacesSubP=A(4,2);
NENFH=A(6:5+nfacesSubP,1:2);

FSubP(1:NGL,1)=0;

iii=0; %Inicialização do contador do nº de pontos de Gauss
for n=1:nfacesSubP %Ciclo ao numero de faces (lados) com pressão da água
    nli=0;
    for j=1:NNOE; for i=1:2;
        nli=nli+1;
        xe(i,j)=coord(elem(NENFH(n,1),j),i); %Matriz com as coord. x1 e x2
dos nós do elemento n
        ce(nli)=coord(elem(NENFH(n,1),j),i); %Vector com as coord. x1 e x2
dos nós do elemento n
    end; end;

FeSubP(1:NNOE*2)=0;
for i=1:NPGF % Ciclo aos pontos de Gauss de cada face
    iii=iii+1;
    iPG=(NENFH(n,2)-1)*2+i;
    y1=YGF(iPG,1); y2=YGF(iPG,2); % Coordenadas locais do PGauss iPG

    [Nc N J B] = matNJB8 (xe,y1,y2); % Função matNJB q

Jinv=inv(J); % Cálculo da matriz jacobiana no ponto de Gauss ix

```



```

    if NENFH(n,2)==1; eixoN=1; isig=1 ; end;
    if NENFH(n,2)==2; eixoN=2; isig=1 ; end;
    if NENFH(n,2)==3; eixoN=1; isig=-1 ; end;
    if NENFH(n,2)==4; eixoN=2; isig=-1 ; end;

xy_PGauss=N*ce';
x_PGauss=xy_PGauss(1); %Cota de cada ponto de Gauss

d= x_PGauss-xmar;
D=xmar-xporto;
px=pmar-(pmar-pporto)/D*d;

PX(iii)=px;
CPG(iii)=x_PGauss;

NORM=(sqrt(Jinv(eixoN,1)^2+Jinv(eixoN,2)^2));
Vnorm=Jinv(eixoN,:)/NORM; %Normal unitaria
DETT=det(J)/(sqrt(J(1,eixoN)^2+J(2,eixoN)^2));

Fix=-esp*N'*px*Vnorm*isig*DETT*WPGF(i); % Matrizes no PG ix para obter
os integrais Fe
FeSubP=FeSubP+Fix';
end; %Fim do ciclo for i=1:NPGF

% Assemblagem do vector das forças FSH. Espalhamento dos vectores FeFSUPH
for i=1:NNOE; for ik=1:2
    FSubP((elem(NENFH(n,1),i)-1)*2+ik,1)=FSubP((elem(NENFH(n,1),i)-
1)*2+ik,1)+FeSubP((i-1)*2+ik);
end; end

end %Fim do ciclo for n=1:nfacesSubP

figure(11); [CPGo iord]=sort(CPG);plot(CPGo,PX(iord))

clear NENFH PX CPG A
%
% Tensoes aplicadas pelo Navio
%
A = xlsread(FICH_DADOS, 'PNavio');
pressao=A(1,2);

nfacesPressao=A(4,2);
NENFH=A(6:5+nfacesPressao,1:2);

FPressaoNavio(1:NGL,1)=0;

iii=0; %Inicialização do contador do nº de pontos de Gauss
for n=1:nfacesPressao %Ciclo ao numero de faces (lados) com pressão da
água
    nli=0;
    for j=1:NNOE; for i=1:2;
        nli=nli+1;

```

```

        xe(i,j)=coord(elem(NENFH(n,1),j),i); %Matriz com as coord. x1 e x2
dos nós do elemento n
        ce(nli)=coord(elem(NENFH(n,1),j),i); %Vector com as coord. x1 e x2
dos nós do elemento n
    end; end;

FePressaoNavio(1:NNOE*2)=0;
for i=1:NPGF % Ciclo aos pontos de Gauss de cada face
    iii=iii+1;
    iPG=(NENFH(n,2)-1)*2+i;
    y1=YGF(iPG,1); y2=YGF(iPG,2); % Coordenadas locais do PGauss iPG

        [Nc N J B] = matNJB8 (xe,y1,y2); % Função matNJB q

Jinv=inv(J); % Cálculo da matriz jacobiana no ponto de Gauss ix

    if NENFH(n,2)==1; eixoN=1; isig=1 ; end;
    if NENFH(n,2)==2; eixoN=2; isig=1 ; end;
    if NENFH(n,2)==3; eixoN=1; isig=-1 ; end;
    if NENFH(n,2)==4; eixoN=2; isig=-1 ; end;

xy_PGauss=N*ce';
y_PGauss=xy_PGauss(2); %Cota de cada ponto de Gauss
PX(iii)=pressao;
CPG(iii)=y_PGauss;

NORM=(sqrt(Jinv(eixoN,1)^2+Jinv(eixoN,2)^2));
Vnorm=Jinv(eixoN,:)/NORM; %Normal unitaria
DETT=det(J)/(sqrt(J(1,eixoN)^2+J(2,eixoN)^2));

Fix=-esp*N'*pressao*Vnorm*isig*DETT*WPGF(i); % Matrizes no PG ix para
obter os integrais Fe
FePressaoNavio=FePressaoNavio+Fix';
end %Fim do ciclo for i=1:NPGF

% Assemblagem do vector das forças FSH. Espalhamento dos vectores FeFSUPH
for i=1:NNOE; for ik=1:2
    FPressaoNavio((elem(NENFH(n,1),i)-
1)*2+ik,1)=FPressaoNavio((elem(NENFH(n,1),i)-
1)*2+ik,1)+FePressaoNavio((i-1)*2+ik);
end; end

end %Fim do ciclo for n=1:nfacesSubP

figure(12); [CPGo iord]=sort(CPG);plot(PX(iord),CPGo)

%
% Combinação de ações
%
F=F_combinacao(1)*Fg+F_combinacao(2)*Fc+F_combinacao(3)*FSH+F_combinacao(
4)*FSubP+F_combinacao(5)* FPressaoNavio;

```

```

%
% K.u = F
%
u=K\F;

%
% Desenho da deformada da estrutura
%
% x1d e x2d - coord. da estrutura (indeformada)
% x1df e x2df - coord. da estrutura após deformação
% ED - factor de escala
ED=100;
x1d(1:nod,1:NE)=0;    x2d(1:nod,1:NE)=0;
x1df(1:nod,1:NE)=0;   x2df(1:nod,1:NE)=0;
uf(1:nod,1:NE)=0;
for n=1:NE
    for i=1:nod
        x1d(i,n)=coord(elem(n,no(i)),1); %vetor com as coordenadas x1 dos
nos do elemento n
        x1df(i,n)= x1d(i,n) + u((elem(n,no(i))*2)-1)*ED; %vetor com as
coord.x1 da estrutura deformada
        x2d(i,n)=coord(elem(n,no(i)),2); %vetor com as coordenadas x2 do
elemento n
        x2df(i,n)= x2d(i,n) + u((elem(n,no(i))*2))*ED;%vetor com as
coord.x2 da estrutura deformada
        uf(i,n)=sqrt(u((elem(n,no(i))*2)-1)^2 + u((elem(n,no(i))*2))^2);
%módulo dos desloc.
    end
end

figure(2)
plot(x1d,x2d,'k'); hold on
plot(x1df,x2df,'r'); axis equal; axis(ax);

% Utilização da instrução fill com o contorno dos deslocamentos uf
figure(3)
hold on
%axis off
plot(x1d,x2d,'color',190*[1 1 1]/255);
fill(x1df,x2df,uf*100) %cm
axis equal; axis(ax);
Title('Forças Conjugadas');Xlabel('metros');Ylabel('metros');

barra=colorbar('east');
set(get(barra,'title'),'string','(cm)')
set(barra,'Ytick',0:((max(max(uf))-min(min(uf)))/4)*100:max(max(uf))*100)
%Ylim([0 100])

% % Escrita de resultados (u) para um ficheiro de texto
% save deslocamentos8nos.txt u -ascii % grava o vetor de deslocamentos
para um
%
% % ficheiro de texto do tipo .txt
%
% % Escrita de resultados (u) para um ficheiro de Excel
% xlswrite('.\Barragem_2D_8nos.xlsx',u,'Resultados');

```

```

% % ou
%   xlswrite(FICH_DADOS,u,'Resultados');

%-----
%-----
% Calculo e Desenho das tensões principais.Compressões a azul e tracções
a vermelho.
%-----
%-----
figure(4); hold on
axis(ax); axis equal
%plot(x1d,x2d,'-ok','MarkerSize',1.5); %Desenho da estrutura indeformada
plot(x1df,x2df,'-or','MarkerSize',1.5); %Desenho da estrutura deformada

ET=.005; %Escala de tensões
nc=0; %Inicialização a zero do contador de TP de compressão
nt=0; %Inicialização a zero do contador de TP de tracção
ue(1:NNOE*NGLNO,1)=0; % Inicialização do vector dos desl. nodais (16x1)
xec(1:NNOE*NGLNO,1)=0; % Inicialização do vector das coord. nodais (16x1)

for n=1:NE %Ciclo ao numero de elementos
    D=Dmat(:, :, imat(n)); % Matriz de elasticidade (3x3) do material
    associado
        % ao elemento n
        for j=1:NNOE; for i=1:NGLNO
            xec((j-1)*NGLNO+i,1)=coord(elem(n,j),i); %vetor das coord. dos nós
            (16x1)
            ue((j-1)*NGLNO+i,1)=u((elem(n,j)-1)*NGLNO+i); %vetor dos
deslocamentos nodais (16x1)
        end; end
    for iPG=1:NPG % Ciclo aos pontos de Gauss
        y1 = yPG(iPG,1); y2 = yPG(iPG,2); % coord locais do ponto de gauss
        [Nc N J B] = matNJB8(xe, y1, y2);
        xpg=N*xec; %vector 2x1 com as coord. do PG. Média ponderada das
coordenadas
        %dos nós do elemento(fórmula fundamental do MEF aplicada às
coord.)
        %plot(xpg(1),xpg(2),'-ok','MarkerSize',1.8); %marcação dos PGauss na
estrutura
        % indeformada
        upg=N*ue; %vector 2x1 com o deslocamento do PG. Fórmula fundamental do
MEF
        x1p=xpg(1)+ED*upg(1); x2p=xpg(2)+ED*upg(2); %Coord. dos PG após a
deformação
        plot(x1p,x2p,'-ob','MarkerSize',1.8); %Marcação dos PGauss na
estrutura
        %deformada

        S=D*B*ue; %tensões no PGauss (3x1) [s11 ; s22 ; s12]
        SS=[S(1) S(3);
            S(3) S(2)]; % Matriz 2x2 : Matriz de tensão no PGauss
%
% Tensões principais e correspondentes direcções

```

```

%
% VecP - Vectores propios da matriz de tensões
%          (direcções principais de tensão)
% ValP - Valores propios da matriz de tensões
%          (valores das tensões principais)
[VecP ValP]=eig(SS); %Vectores propios e valores propios da matriz de
tensão

TP1=ValP(2,2); % Tensão principal I (TP1): maior valor proprio
% 2º valor da diagonal da matriz diagonal ValP(2x2)
n1(1:2)=VecP(1:2,2); %Vector com os cosenos directores da TP1
%Coluna 2 da matriz VecP(2x2)

TP2=ValP(1,1); % Tensão principal II (TP2): menor valor proprio
% 1º valor da diagonal da matriz diagonal ValP(2x2)
n2(1:2)=VecP(1:2,1); %Vector com os cosenos directores da TP2
%Coluna 1 da matriz VecP(2x2)

% Desenho das tensões principais
if TP1 < 0 ; nc=nc+1; %Compressão
    x1c(1,nc)=x1p+TP1/2*ET*n1(1); x1c(2,nc)=x1p-TP1/2*ET*n1(1);
    x2c(1,nc)=x2p+TP1/2*ET*n1(2); x2c(2,nc)=x2p-TP1/2*ET*n1(2);
else; nt=nt+1; %tracção
    x1t(1,nt)=x1p+TP1/2*ET*n1(1); x1t(2,nt)=x1p-TP1/2*ET*n1(1);
    x2t(1,nt)=x2p+TP1/2*ET*n1(2); x2t(2,nt)=x2p-TP1/2*ET*n1(2);
end;

if TP2 < 0 ; nc=nc+1; %Compressão
    x1c(1,nc)=x1p+TP2/2*ET*n2(1); x1c(2,nc)=x1p-TP2/2*ET*n2(1);
    x2c(1,nc)=x2p+TP2/2*ET*n2(2); x2c(2,nc)=x2p-TP2/2*ET*n2(2);
else; nt=nt+1; %tracção
    x1t(1,nt)=x1p+TP2/2*ET*n2(1); x1t(2,nt)=x1p-TP2/2*ET*n2(1);
    x2t(1,nt)=x2p+TP2/2*ET*n2(2); x2t(2,nt)=x2p-TP2/2*ET*n2(2);
end;

end %fim do ciclo aos pontos de Gauss

end % Fim do ciclo aos elementos
if nc>0; plot(x1c,x2c,'b'); end % Desenho das tensões principais de
% compressão
if nt>0; plot(x1t,x2t,'r'); end % Desenho das tensões principais de

clear A u F Fc FSH FSubP FPressaoNavio

%
%=====
% Cálculo Dinamico - Modos de vibração
%=====
%
% Frequencias proprias e modos de vibração
%
[VecP,ValP] = eig(K,M); %VecP - matriz de 16x16 com os Vetores propios
(Matriz dos modos de vibração)

```

```

        %ValP - matriz diagonal 16x16 com os valores
        proprios (Quadrado das freq. naturais, em rad/s)
Wno = sqrt(diag(ValP)); %Vector 16x1 com as frequencias naturais:
        %raiz quadrada dos valores da diagonal de ValP
(não ordenados)
[W,Iordem] = sort(Wno); % W - Vector 16x1 com os valores de Wno, agora
ordenados por ordem crescente
        % Iordem - vector de inteiros 16x1 indicando o
        % resultado da ordenação de Wno para W
VX = VecP(:,Iordem); % Matriz com os vectores proprios ordenados (por
coluna) de acordo com Iordem
Freq=W(1:NMOD)/(2*pi); %Calculo das NMOD primeiras frequencias naturais
da estrutura, em Hz.

% Matriz modal normalizada em relação à matriz de massa
%V=real(VX*sqrt(inv(VX'*M*VX)));
VR=VX(:,1:NMOD); %Matriz modal reduzida (apenas se consideram dos
primeiros NMOD modos)
%Ca=alf*M+bet*K; %Matriz de amortecimento CD = alf.M + bet.K
clear Wno; clear VXX; clear VX;

%
% Desenho dos primeiros NMOD modos de vibração: NM=1 a NMOD
%
ESCM=.5;
for NM=1:NMOD
for n=1:NE
    for i=1:nod %Ciclo ao n. de nos para desenho
        x1f(i,n)=coord(elem(n,no(i)),1); d1(i,n)=VR((elem(n,no(i))-
1)*2+1,NM);
        x2f(i,n)=coord(elem(n,no(i)),2); d2(i,n)=VR((elem(n,no(i))-
1)*2+2,NM);
    end
end
umod=sqrt(d1.^2+d2.^2);
figure(4+NM); hold on; axis equal; axis(ax); %ax = [xmin xmax ymin ymax];
plot(x1f,x2f,'b');% plot(x1f+d1*ESCM,x2f+d2*ESCM,'r');
fill(x1f+d1*ESCM, x2f+d2*ESCM, umod); colorbar
end %Fim do ciclo ao n. de modos a considerar: for NM=1:NMOD

%*****
% Filme com o modo NMM
%*****
%NMM=3

NMM=menu('Qual o modo a visualizar:', 'Modo 1', 'Modo 2', 'Modo 3', 'Sair');
while NMM~=4 % o operador relacional ~= significa diferente de
clf

for n=1:NE
    for i=1:nod
        x1f(i,n)=coord(elem(n,no(i)),1); d1(i,n)=VR((elem(n,no(i))-
1)*2+1,NMM);
        x2f(i,n)=coord(elem(n,no(i)),2); d2(i,n)=VR((elem(n,no(i))-
1)*2+2,NMM);
    end
end

```

```

end
umod=sqrt(d1.^2+d2.^2);

figure(4+NMOD+1); hold on
axis equal; axis(ax)
set(gca,'nextplot','replacechildren');

% Apresentação da sequencia de frames para nciclos de oscilação (sem
gravação)
Etempo=100; %Escala do tempo
nciclos=5; step=pi/50;
for t = 0:step:2*pi*nciclos
    title (strcat('Modo de Vibração -',num2str(NMM)))
    fill(x1f+d1*sin(W(NMM)*t/Etempo),x2f+d2*sin(W(NMM)*t/Etempo),
sqrt((d1*sin(W(NMM)*t/Etempo)).^2+(d2*sin(W(NMM)*t/Etempo)).^2) )
    Frame = getframe;
end
NMM=menu('Qual o modo a visualizar','Modo 1','Modo 2','Modo 3', 'Sair');
end % Fim do ciclo while NMM~=4
toc % finaliza a contagem do tempo

```





## Anexo R



```

%Mário Pedro Moreira Pereira
%Rotina para Análise do Sinal na Atracagem
%Doutoramento em Engenharia Geográfica
%Departamento de Geociências e Ordenamento do Território
%Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Programa para ler o ficheiro Excel que contem a informação dos Nós,%
% Elementos, Materiais e Apoios composto por elementos de 4 Nós e    %
% converte-lo para elementos de 8 Nós automaticamente. Preenche      %
% automaticamente todas as folhas                                     %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%21 de Setembro 2012

clc; clear; close all

[FileName,PathName]=uigetfile('*.xlsx','Selecione o ficheiro','.\');
FICH_DADOS=strcat(PathName,FileName);
A=xlsread(FICH_DADOS,'Nos');
NP=A(1,2);NNOE=4;
coord=A(4:NP+3,2:3);apoios=A(4:NP+3,4:5);
clear A
B=xlsread(FICH_DADOS,'Elementos');
NE=B(1,2);
elem=B(4:3+NE,2:NNOE+1);imat=B(4:3+NE,NNOE+2);
clear B
ax=[min(coord(:,1))-1 max(coord(:,1))+1 min(coord(:,2))-1
max(coord(:,2))+1];
axis equal;axis(ax);

for n=1:NE
    for i=1:NNOE
        x1e(i)=coord(elem(n,i),1);x2e(i)=coord(elem(n,i),2);

apoio1_aux(i)=apoios(elem(n,i),1);apoio2_aux(i)=apoios(elem(n,i),2);
    end
    hold on
    x1e(NNOE+1)=x1e(1);x2e(NNOE+1)=x2e(1);
    plot(x1e,x2e);plot(x1e,x2e,'*')

    x1(n,1)=x1e(1);x1(n,2)=x1e(2);x1(n,3)=x1e(3);x1(n,4)=x1e(4);
    x1(n,5)=(x1e(2)+x1e(1))/2;x1(n,6)=(x1e(3)+x1e(2))/2;
    x1(n,7)=(x1e(4)+x1e(3))/2;x1(n,8)=(x1e(1)+x1e(4))/2;
    x2(n,1)=x2e(1);x2(n,2)=x2e(2);x2(n,3)=x2e(3);x2(n,4)=x2e(4);
    x2(n,5)=(x2e(2)+x2e(1))/2;x2(n,6)=(x2e(3)+x2e(2))/2;
    x2(n,7)=(x2e(4)+x2e(3))/2;x2(n,8)=(x2e(1)+x2e(4))/2;
    apoio1(n,1)=apoio1_aux(1);apoio1(n,2)=apoio1_aux(2);
    apoio1(n,3)=apoio1_aux(3);apoio1(n,4)=apoio1_aux(4);
    apoio2(n,1)=apoio2_aux(1);apoio2(n,2)=apoio2_aux(2);
    apoio2(n,3)=apoio2_aux(3);apoio2(n,4)=apoio2_aux(4);

aux1=and(apoio1_aux(2),apoio1_aux(1));aux2=and(apoio1_aux(3),apoio1_aux(2));

```

```

aux3=and(apoiol_aux(4),apoiol_aux(3));aux4=and(apoiol_aux(1),apoiol_aux(4
));
    if aux1==1
        apoiol(n,5)=1;
        apoio2(n,5)=1;
    else
        apoiol(n,5)=0;
        apoio2(n,5)=0;
    end
    if aux2==1
        apoiol(n,6)=1;
        apoio2(n,6)=1;
    else
        apoiol(n,6)=0;
        apoio2(n,6)=0;
    end
    if aux3==1
        apoiol(n,7)=1;
        apoio2(n,7)=1;
    else
        apoiol(n,7)=0;
        apoio2(n,7)=0;
    end
    if aux4==1
        apoiol(n,8)=1;
        apoio2(n,8)=1;
    else
        apoiol(n,8)=0;
        apoio2(n,8)=0;
    end

end
NNOE=8;m=1;
for k=1:NE
    for j=1:NNOE
        coord(m,1)=x1(k,j);coord(m,2)=x2(k,j);
        apoios(m,1)=apoiol(k,j);apoios(m,2)=apoio2(k,j);
        elem(k,j)=m;
        m=m+1;
    end
end

mm=menu('Proceguir para 8 nós?','Sim','Não');

if mm==1
    %figure(2); % Para que os 8 nós se sobreponham à primeira figura
    plot(x1,x2,'*')
    k=1;tol=0.005;
    for n=1:(length(coord)-1)
        for v=1:(length(coord)-n)
            d(k)=sqrt((coord(n,1)-coord(v+n,1))^2+(coord(n,2)-
coord(v+n,2))^2);
            if abs(d(k))<tol
                coord(v+n,:)= [9999 9999];
                elem(elem==v+n)=n;
            end
        end
        k=k+1;
    end
end

```

```

apoios(v+n,:)=[9999 9999];
end
k=k+1;
end

end
coord_long=coord;
coord(all(coord==9999,2),:)=[];
apoios(all(apoios==9999,2),:)=[];

for i=1:length(coord)
    for j=1:length(coord_long)
        dist(k)=sqrt((coord(i,1)-coord_long(j,1))^2+(coord(i,2)-
coord_long(j,2))^2);
        if dist(k)<tol
            elem(elem==j)=i;
        end
        k=k+1;
    end
end
cabecalho_Nos={'Nó','x1','x2','Apoios x1','Apoios x2'};
cabecalho_Elem={'Elemento','Nó 1','Nó 2','Nó 3','Nó 4','Nó 5','Nó
6','Nó 7','Nó 8','Material'};

xlswrite(FileName,cabecalho_Nos,'8Nos','B5');xlswrite(FileName,coord,'8No
s','C6');xlswrite(FileName,apoios,'8Nos','E6');

xlswrite(FileName,cabecalho_Elem,'Elementos8Nos','B5');xlswrite(FileName,
elem,'Elementos8Nos','C6');

xlswrite(FileName,imat,'Elementos8Nos','K6');xlswrite(FileName,{'NE'},'El
ementos8Nos','B3');
    xlswrite(FileName,NE,'Elementos8Nos','C3');

xlswrite(FileName,{'NP='},'8Nos','B3');xlswrite(FileName,i,'8Nos','C3');x
lswrite(FileName,(1:1:i),'8Nos','B6');
    xlswrite(FileName,(1:1:NE),'Elementos8Nos','B6');
    xlswrite(FileName,{'Coordenadas dos Nós e Apoios'},'8Nos','B1');
    xlswrite(FileName,{'Elementos e tipo de Material em cada Elemento
Finito'},'Elementos8Nos','B1');
else
    break
end
end

```



## Anexo S





Modos de Vibração com os elementos retificados

1ª Hipótese - Condições Base

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m3)
1	20000000	0.2	1	0
2	1.00E+07	0.25	1	0
3	20000000	0.2	1	0
4	4.00E+06	0.4	1	0
5	1.00E+05	0.3	1	0
6	5.00E+04	0.3	1	0
7	5.00E+04	0.3	1	0
8	5.00E+04	0.3	1	0
9	2.00E+05	0.3	1	0
10	2.00E+05	0.3	1	0
11	1.00E+05	0.3	1	0
12	5.00E+04	0.3	1	0
13	20000000	0.2	1	0
14	20000000	0.2	1	0
15	20000000	0.2	1	24

Tabela S.1 – Caraterísticas das camadas de materiais

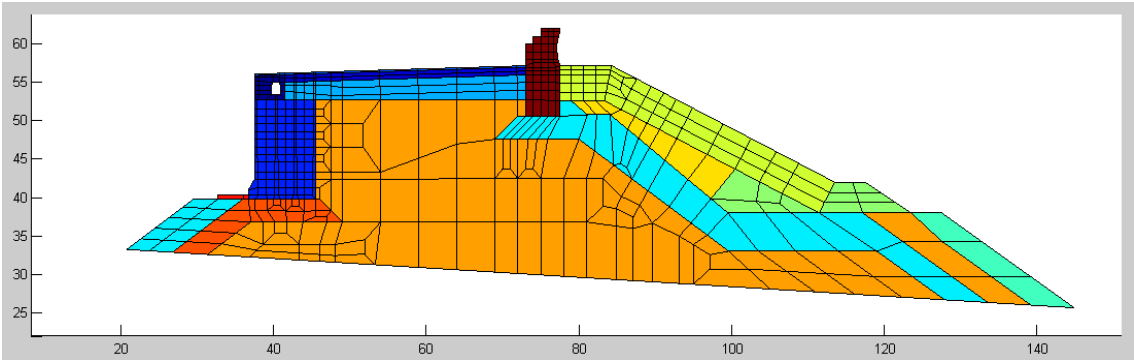


Figura S.1 – Perfil do quebramar. Representação das camadas com diferentes materiais

## Frequências

4.5982

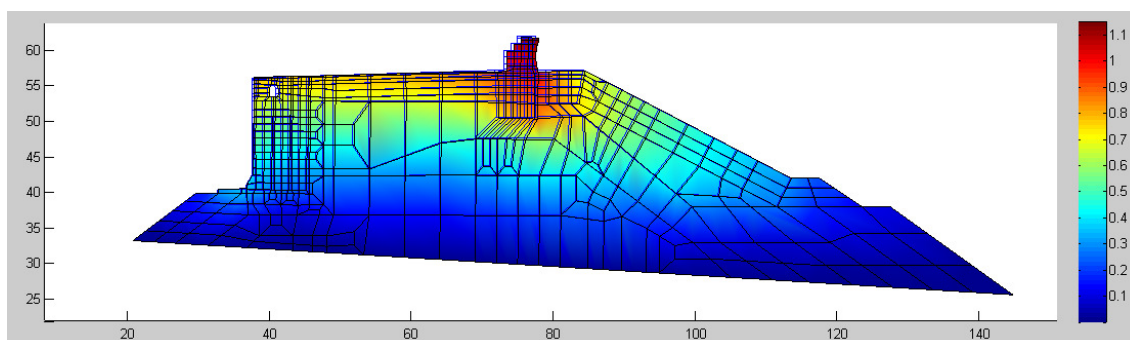


Figura S.2 – Incidência de Vibração

4.8596

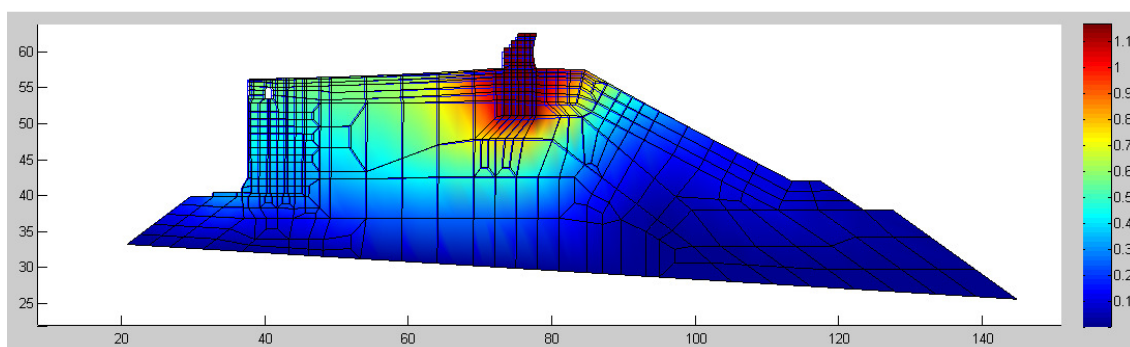


Figura S.3 – Incidência de Vibração

10.1436

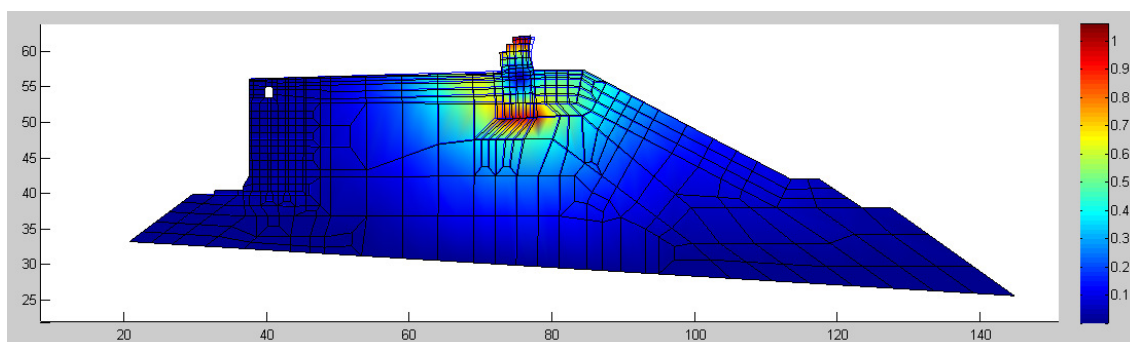


Figura S.4 – Incidência de Vibração

79.5261

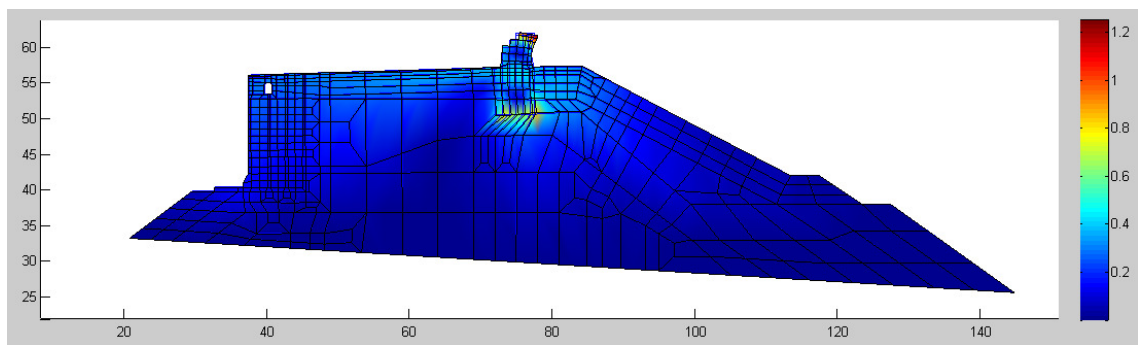


Figura S.5 – Incidência de Vibração

132.0215

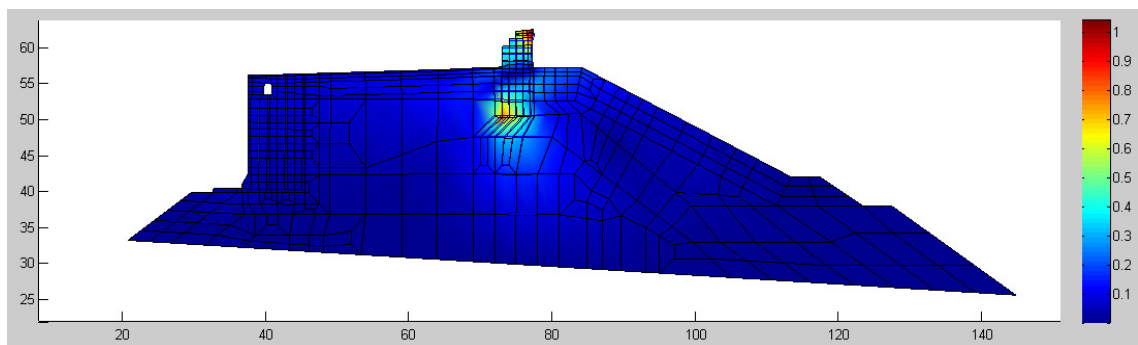


Figura S.6 – Incidência de Vibração

146.8096

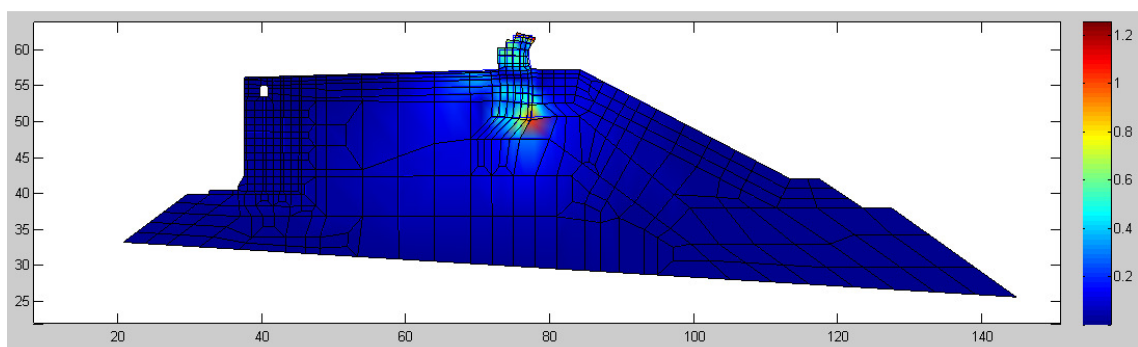


Figura S.7 – Incidência de Vibração

**2ª Hipótese** – Fragilização das Condições de Fundação sob os caixões de betão na zona de atracação (valores da elasticidade reduzidos em 50% – Alteração dos elementos nº 11 e 12

- Material 12 – Elementos

13, 14, 15, 16, 17, 38, 39, 63, 64, 85, 86, 103, 104, 119, 145, 146, 167, 168, 188, 208, 209, 249, 250, 251, 263

Passa ao Material 16

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
16	2.500E+04	0.3	1	0

Tabela S.2 – Caraterísticas das camadas de materiais

- Material 11 – Elementos

40, 41, 42, 65, 66, 67, 87, 88, 147, 210, 211, 212, 264, 265, 266, 278, 279, 280, 281

Passa ao Material 17

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
17	5.00E+04	0.3	1	0

Tabela S.3 – Caraterísticas das camadas de materiais

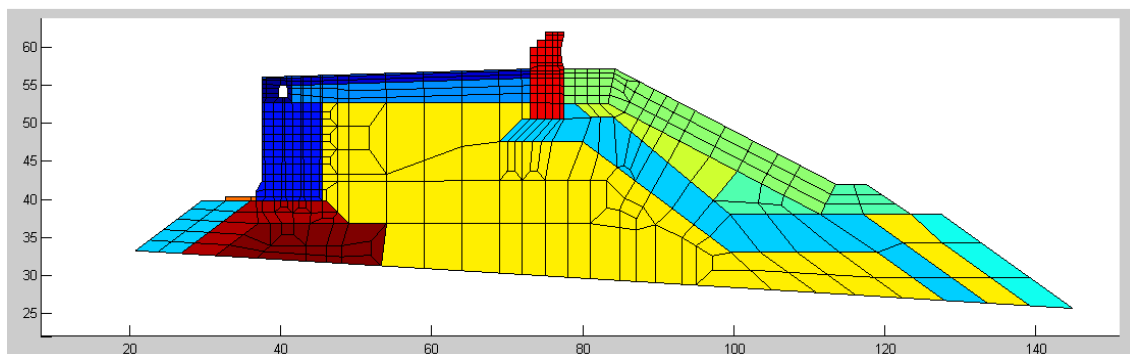


Figura S.8 – Perfil do quebramar. Representação das camadas com diferentes materiais

## Frequências

4.4575

4.8004

10.1380

79.5188

132.0213

146.8093

**3ª Hipótese** – Fragilização das Condições de Fundação sob a superestrutura (valores da elasticidade reduzidos em ½) – Alteração dos elementos nº 6 e 11

- Material 06 – Elementos

329, 340, 354, 369, 386, 402, 409, 410, 420

Passa ao Material 18

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m3)
18	2.500E+04	0.3	1	0

Tabela S.4 – Caraterísticas das camadas de materiais

- Material 11 – Elementos

319, 320, 341, 342, 355, 370, 371, 387, 388, 403, 411, 412, 421, 422, 431, 432,

Passa ao Material 17

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m3)
17	5.00E+04	0.3	1	0

Tabela S.5 – Caraterísticas das camadas de materiais

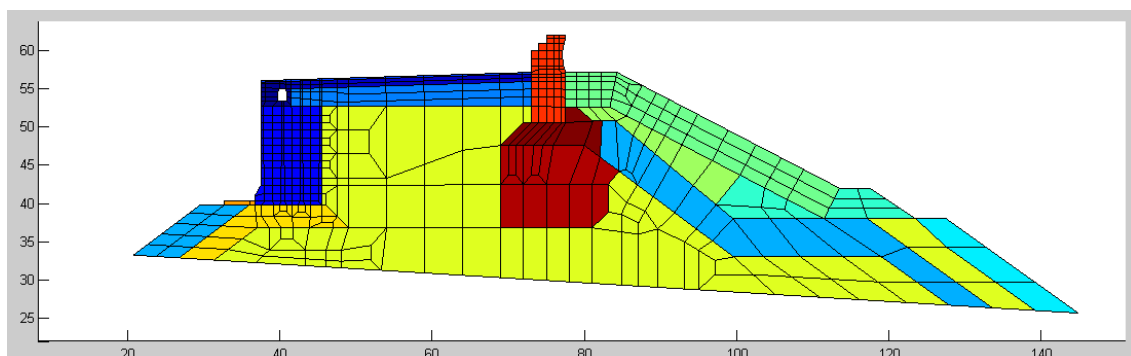


Figura S.9 – Perfil do quebramar. Representação das camadas com diferentes materiais

## Frequências

4.1063

4.5330

9.1461

79.2992

131.9548

146.6605

**4ª Hipótese** – Fragilização das Condições de Fundação sob os caixões de betão na zona de atracção e sob a zona de suporte da superestrutura (valores da elasticidade reduzidos em ½)  
– Alteração dos elementos nº 6 e 11.

Condições d já testadas na hipótese 2 juntamente com:

- Material 06 – Elementos

329, 340, 354, 369, 386, 402, 409, 410, 420

Passa ao Material 18

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m3)
18	2.500E+04	0.3	1	0

Tabela S.6 – Caraterísticas das camadas de materiais

- Material 11 – Elementos

319, 320, 341, 342, 355, 370, 371, 387, 388, 403, 411, 412, 421, 422, 431, 432,

Passa ao Material 17

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m3)
17	5.00E+04	0.3	1	0

Tabela S.7 – Caraterísticas das camadas de materiais

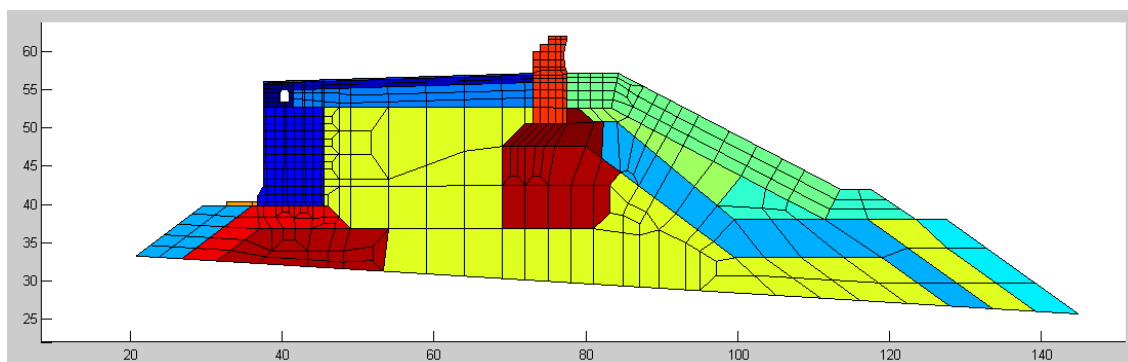


Figura S.10 – Perfil do quebramar. Representação das camadas com diferentes materiais

### Frequências

4.0919

4.3457

9.1364

79.2920

131.9546

146.6602

Com as hipóteses 2 e 4 verifica-se que a influência provocada pela fragilização das camadas sob a zona de atracação não é muito relevante reduzindo somente 0.01 nas frequências encontradas.

**5ª Hipótese** – Fragilização das Condições de Fundação sob a zona de suporte da superestrutura (hipótese 3), bem como nas camadas de detritos de tetrápodes e tetrápodes mais expostas e juntas à superestrutura (valores da elasticidade reduzidos em  $\frac{1}{2}$ ) – Alteração dos elementos nº 06, 09 e 10.

- Material 06 – Elementos

430

Passa ao Material 18

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
18	2.500E+04	0.3	1	0

Tabela S.8 – Características das camadas de materiais

- Material 10 - Elementos

419, 429

Passa ao Material 19

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
19	1.0000E+05	0.3	1	0

Tabela S.9 – Caraterísticas das camadas de materiais

- Material 09 - Elementos

404, 405, 406, 407, 408, 414, 415, 416, 417, 418, 424, 425, 426, 427, 428

Passa ao Material 20

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
20	1.0000E+05	0.3	1	0

Tabela S.10 – Caraterísticas das camadas de materiais

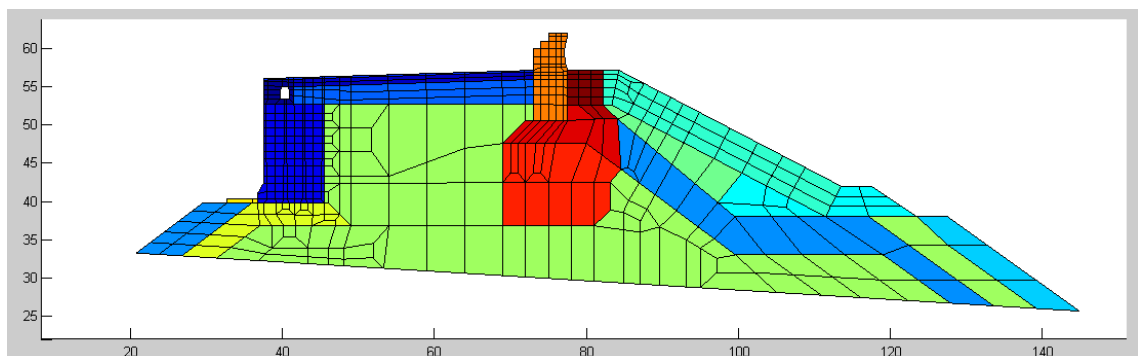


Figura S.11 – Perfil do quebramar. Representação das camadas com diferentes materiais

## Frequências

3.8741

4.4810

8.7863

79.1678

131.9439

146.5064



**6ª Hipótese** – Condições repetidas da hipótese 5, juntamente com a alteração das condições de elasticidade das camadas de materiais 09 e 10 para 50% do seu valor inicial.

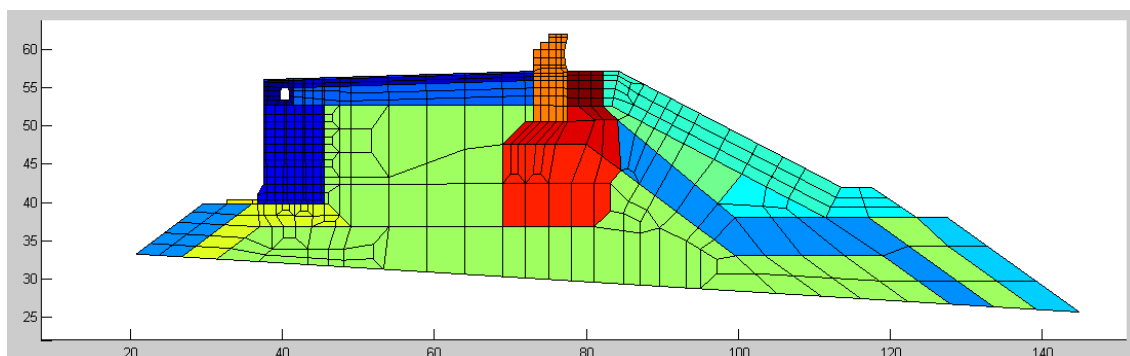


Figura S.12 – Perfil do quebramar. Representação das camadas com diferentes materiais

### Frequências

3.7938

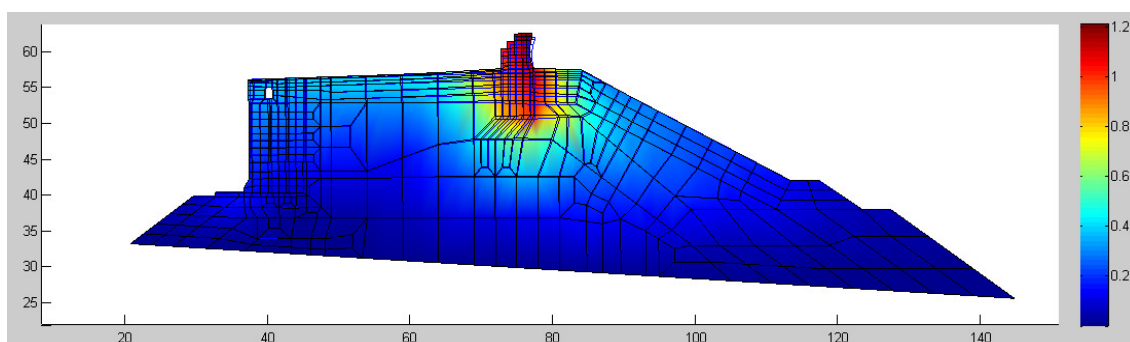


Figura S.13 – Incidência de Vibração

4.3837

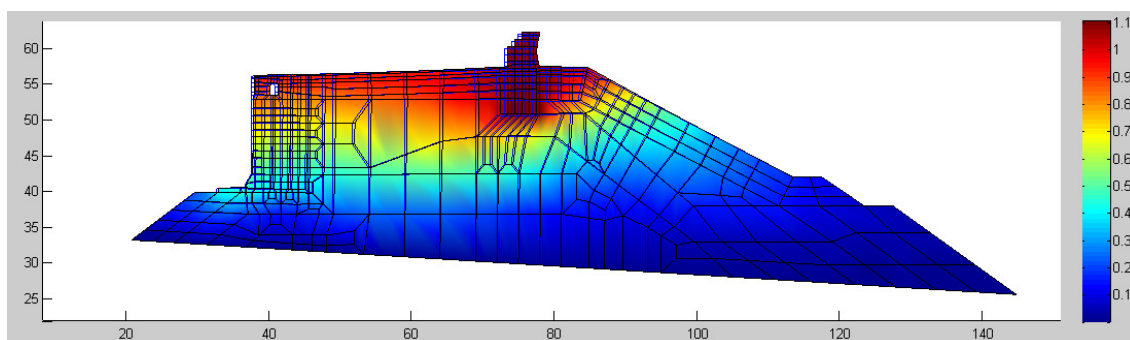


Figura S.14 – Incidência de Vibração

8.7461

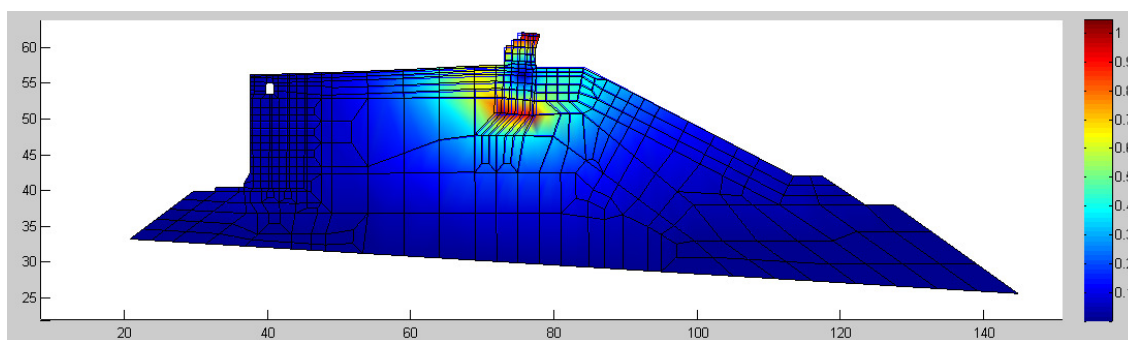


Figura S.15 – Incidência de Vibração

79.1584

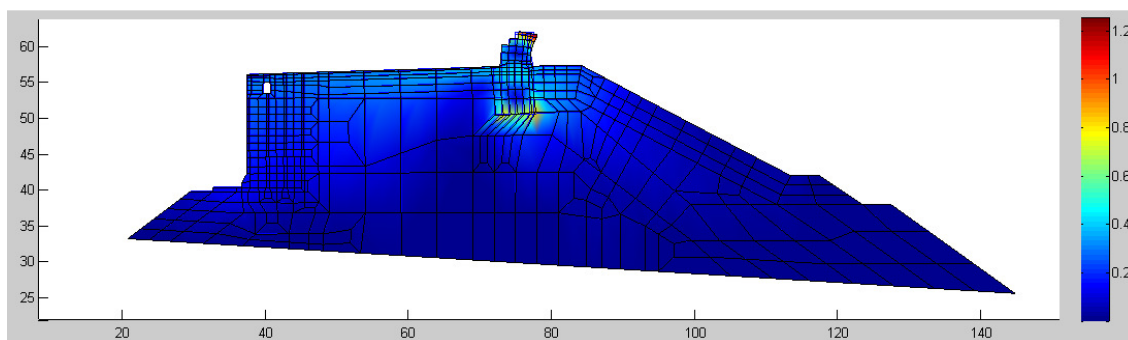


Figura S.16 – Incidência de Vibração

131.9427

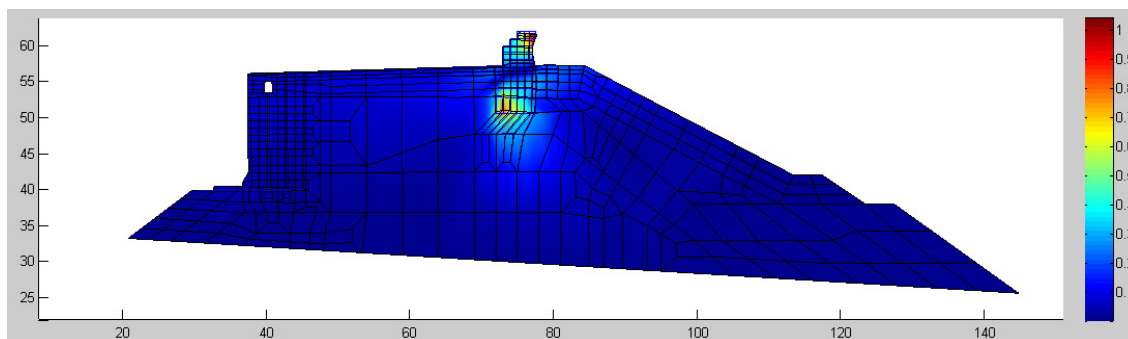


Figura S.17 – Incidência de Vibração

146.5063

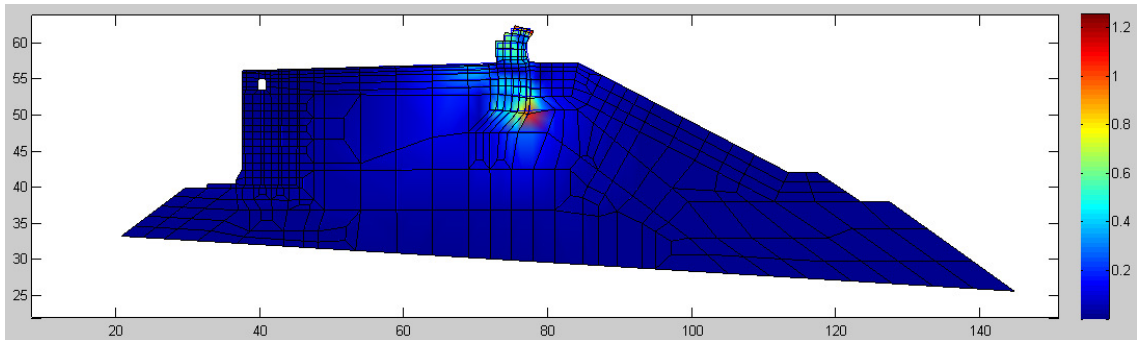


Figura S.18 – Incidência de Vibração

A 2ª e 3ª frequência encontradas de 4.38 e 8.74 Hz são muito próximas dos valores encontrados nas campanhas de campo com os acelerômetros. Para encontrar os valores exatos das campanhas de campo, tentaremos expandir as condições de fragilização para a camada 8 que são o suporte das camadas de tetrápodes e detritos de tetrápodes.

**7ª Hipótese** Condições repetidas da hipótese 6, juntamente com a alteração das condições de elasticidade das camadas de materiais 11 para os elementos:

- Material 11 – Elementos

328

Passa ao Material 17

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m3)
17	5.00E+04	0.3	1	0

Tabela S.11 – Caraterísticas das camadas de materiais

- Material 17 passa novamente ao material 11

320, 371, 412, 422, 432

**Frequências**

3.8796

4.4276

8.6195

79.0869

131.9028

146.4722

**Hipótese Final** – Condições de fragilidade nas camadas mais expostas à agitação marítima (camadas de tetrápode e detritos de tetrápodes), bem como fragilização das camadas sob a superestrutura e sob as camadas de detritos de tetrápodes.

- Material 11 – Elementos

328

Passa ao Material 21 (80% do material 11)

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
21	7.50E+04	0.3	1	0

Tabela S.12 – Caraterísticas das camadas de materiais

- Material 06 – Elementos

329, 340, 354, 369, 386, 402, 409, 410, 420, 430, 450, 459, 460, 465, 470, 479, 487, 498

Passa ao Material 18

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
18	2.500E+04	0.3	1	0

Tabela S.13 – Caraterísticas das camadas de materiais

- Material 11 – Elementos

319, 320, 341, 342, 355, 370, 371, 387, 388, 403, 411, 412, 421, 422, 431, 432, 451, 471, 480, 488, 499

Passa ao Material 17 (50% do material 11)

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
17	5.00E+04	0.3	1	0

Tabela S.14 – Caraterísticas das camadas de materiais

As Camadas 07, 08, 09 e 10 passam na totalidade igualmente para ½ do seu valor inicial

Material	E (kPa)	$\nu$	EPTD	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
09	1.00E+05	0.3	1	0
10	1.00E+05	0.3	1	0

Tabela S.15 – Caraterísticas das camadas de materiais

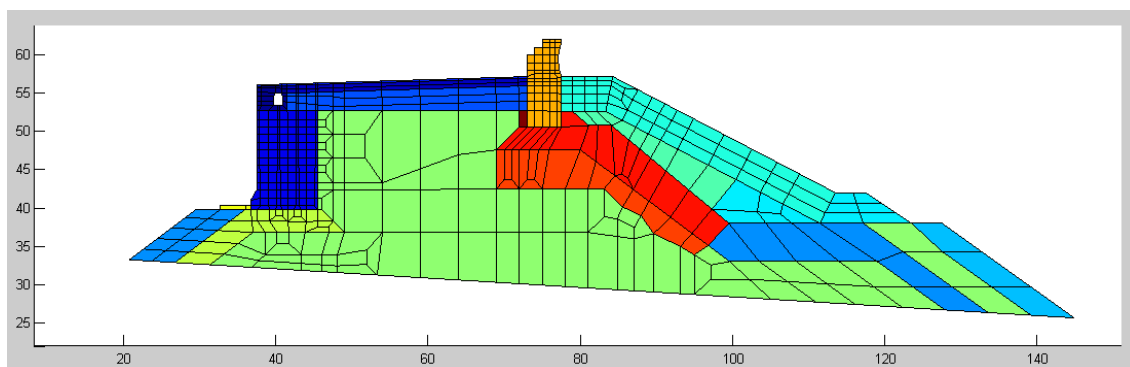


Figura S.19 – Perfil do quebramar. Representação das camadas com diferentes materiais

### Frequências

3.8120

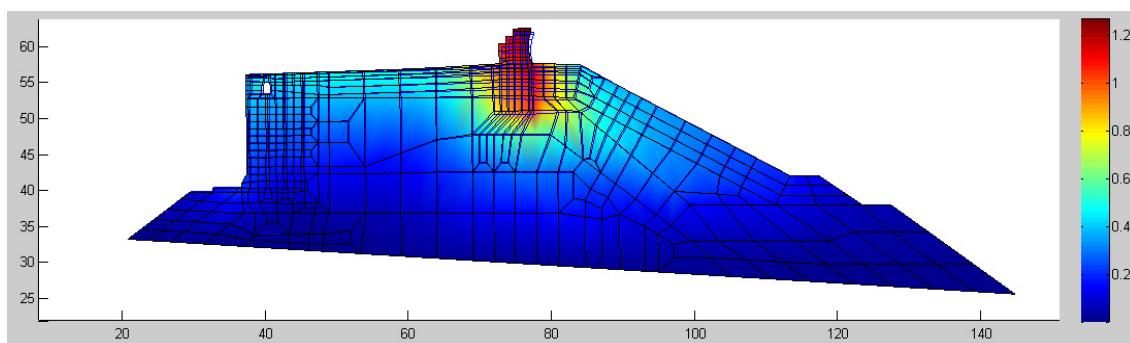


Figura S.20 – Incidência de Vibração

4.4069

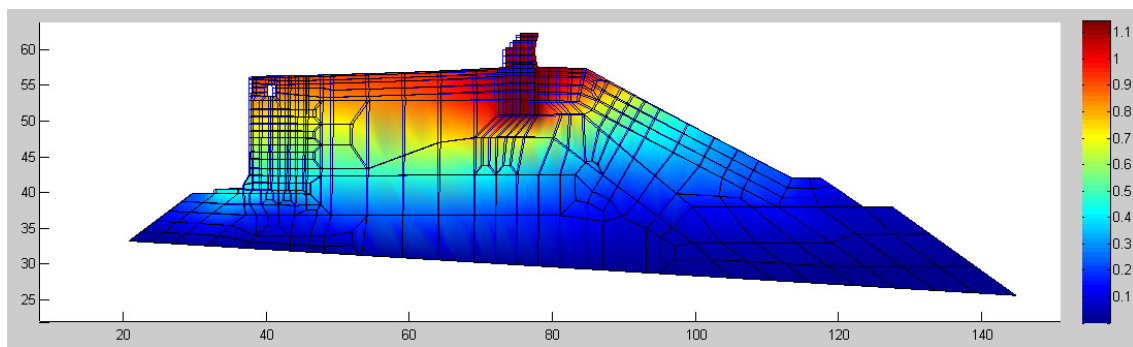


Figura S.21 – Incidência de Vibração

8.6901

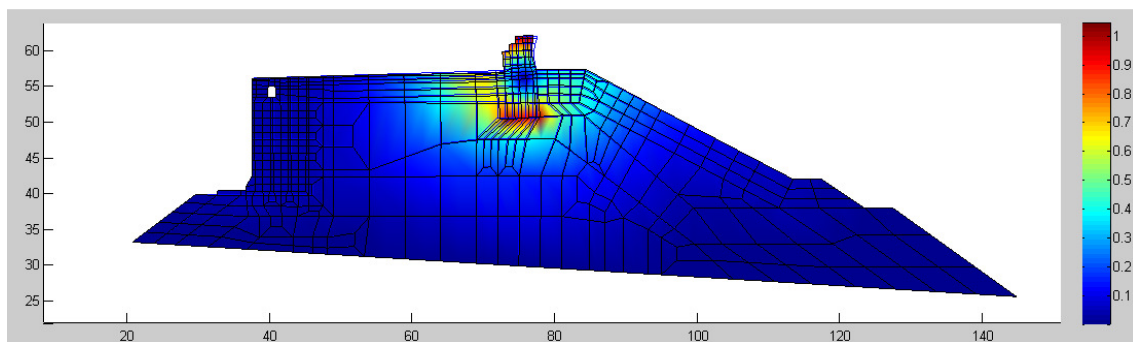


Figura S.22 – Incidência de Vibração

79.1238

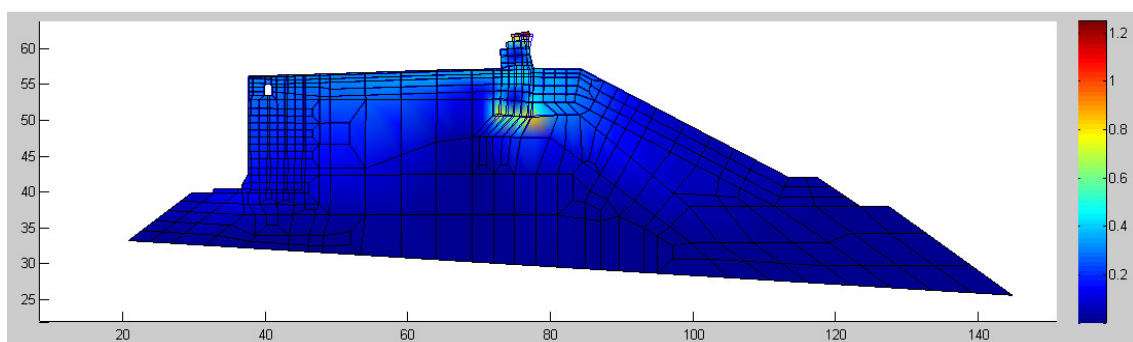


Figura S.23 – Incidência de Vibração

131.9259

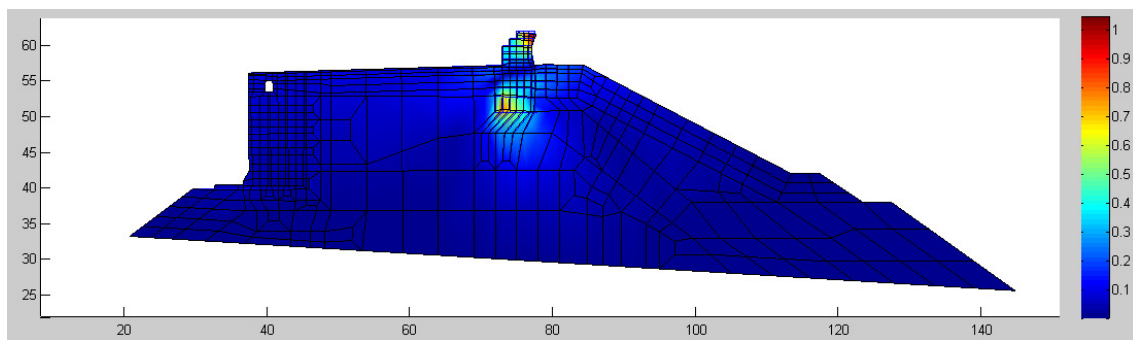


Figura S.24 – Incidência de Vibração

146.4915

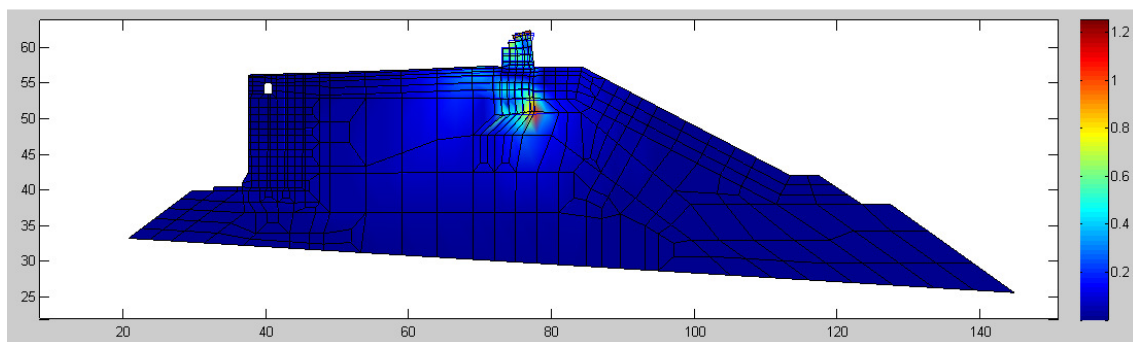


Figura S.25 – Incidência de Vibração







**Faculdade de Ciências da Universidade do Porto**

**Porto  
2014**